

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Kvalita příjmu digitálního televizního pozemského vysílání
Reception Quality of Digital Terrestrial Broadcasting

2014

Petr Zobaník

Zadání bakalářské práce

Student:

Petr Zbaník

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2601R013 Telekomunikační technika

Téma:

Kvalita příjmu digitálního televizního pozemského vysílání
Reception Quality of Digital Terrestrial Broadcasting

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor problematiky šíření a příjmu televizního signálu.
2. Proměření vlivu natočení antény na příjem televizního signálu.
3. Proměření vlivu výšky umístění antény nad zemským povrchem na příjem televizního signálu.
4. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

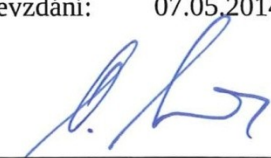
Legiň, M.: Televizní technika DVB-T, BEN, 2006, ISBN 80-7300-204-3

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Roman Šebesta, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014


doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 2. května 2014


.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Romanovi Šebestovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá kvalitou příjmu digitálního televizního pozemského vysílání. V úvodu teoretické části je krátce popsáno šíření digitálního televizního signálu z pozemních vysílačů, a také jsou uvedeny kmitočty kanálů určených pro digitální televizní pozemní vysílání. Dále je teoretická část věnována standardu DVB, především systému DVB-T. Jsou uvedeny základní vlastnosti, princip činnosti, výhody a nevýhody, krátká historie atd. Praktická část práce je zaměřena na proměření vlivu natočení antény a vlivu výšky antény nad zemským povrchem na příjem televizního signálu. Byly měřeny a graficky zpracovány parametry jako úroveň signálu či modulační a bitové chybovosti, tedy parametry, podle nichž se určí kvalita přijímaného signálu. Také bylo provedeno subjektivní hodnocení kvality přijímaného signálu. V závěru práce jsou naměřené hodnoty zhodnoceny.

Klíčová slova

DVB; DVB-T; DVB-T2; MER; BER; SFN; televizní anténa; měření televizního signálu; subjektivní hodnocení kvality televizního signálu

Abstract

This bachelor thesis addresses the quality of receiving a digital terrestrial television broadcasting. The spread of digital television signals from terrestrial transmitters is described in the introduction of the theoretical part. The frequencies of channels intended for digital television terrestrial broadcasting are also listed. The theoretical chapters deal with the DVB standard, especially with the DVB-T. These are the basic features and operating principles, advantages and disadvantages, a brief history, etc. The practical part focuses on measuring the impact of antenna rotation and the influence of the antenna height above ground level to receive television signals. Parameters such as signal level, modulation error ratio and bit error rate, ie the parameters for determining the quality of the received signal, were measured and graphically processed. Also, a subjective evaluation of the quality of the received signal was made. The measured values are evaluated in the conclusion.

Key words

DVB; DVB-T; DVB-T2; MER; BER; SFN; TV antenna; measurement of television signal; subjective assessment of the quality of television signal

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
c	m/s	Rychlost světla
B_{vf}	m	Celková šíře přijímaného pásma
f	Hz	Frekvence
F	dB	Šumové číslo
G_p	dB	Směrovost přijímací antény
G_v	dB	Směrový účinek antény
L_{TR}	dB	Útlum prostředí
P_v	kW	Výkon zesilovače
R	m	Vzdálenost mezi přijímačem a vysílačem
T	°C	Šumová teplota na vstupu přijímače
V	dB μ V	Úroveň signálu
λ	m	Vlnová délka

Seznam použitých zkratk

Zkratka	Anglický význam	Český význam
BCH	Bose-Chaudhuri-Hocquengham	-
BER	Bit Error Rate	Bitová chybovost
C/N	Carrier to Noise Ratio	Poměr nosná šum
CA	Conditional Access	-
CBER	Channel Bit Error Rate	Bitová chybovost před korekcí
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex	Kódový ortogonální frekvenčně dělený multiplex
ČRO	-	Český rozhlas
ČT	-	Česká televize
DVB	Digital Video Broadcasting	Digitální televizní vysílání
DVB-C	Digital Video Broadcasting – Cable	Digitální kabelové televizní vysílání
DVB-S	Digital Video Broadcasting – Satellite	Digitální satelitní televizní vysílání
DVB-T	Digital Video Broadcasting – Terrestrial	Digitální pozemní televizní vysílání
DVD	Digital Video Disc	-
DTS	Digital Theatre Sound	Digitální vícekanálový formát prostorového ozvučení
EBU	European Broadcasting Union	Evropská vysílací unie
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	Evropský ústav pro telekomunikační normy
EPG	Electronic Program Guide	Elektronický programový průvodce
FEC	Forward Error Correction	Dopředná korekce chyb
HD	High Definition	Vysoké rozlišení
HDTV	High Definition Television	Televize ve vysokém rozlišení
IDTV	Integrated Digital Television	Integrovaný digitální televizní přijímač
LDPC	Low Density Parity Check	-
MER	Modulation Error Ratio	Modulační chybovost
MHP	Multimedia Home Platform	Multimediální platforma pro domácí přijímače
MPEG	Moving Pictures Experts Group	-
MUX	Multiplex	Multiplex

NTSC	National Television System Committee	-
PAL	Phase Alternating Line	-
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	Kvadrurní amplitudová modulace
QPSK	Quadrature Phase shift Keying	Kvadrurní klíování s posuvem fáze
SDTV	Standard Definition Television	Televize ve standardním rozlišení
SECAM	Séquentiel Couleur a Mémoire	-
SFN	Single Frequency Network	Jednofrekvenční síť
TV	Television	Televize
UHF	Ultra High Frequency	Ultra krátké vlny
VBER	Viterbi Bit Error Rate	Bitová chybovost po korekci
VHF	Very High Frequency	Velmi krátké vlny

Obsah

Úvod.....	- 1 -
1 Šíření televizního signálu	- 2 -
1.1 Kmitočty kanálů pro III. – V. televizní pásmo	- 3 -
2 Standard DVB-T	- 4 -
2.1 DVB	- 4 -
2.2 Základní charakteristika DVB-T	- 5 -
2.2.1 Historie v České republice.....	- 8 -
2.2.2 Výhody a nevýhody.....	- 8 -
2.2.3 Vysílání v České republice.....	- 9 -
2.3 Princip činnosti DVB-T	- 11 -
2.3.1 Kompresní technologie.....	- 11 -
2.3.2 Modulace	- 13 -
2.3.3 Příjem DVB-T Set Top Box	- 14 -
2.4 DVB-T2.....	- 15 -
2.4.1 Přínos DVB-T2.....	- 15 -
2.4.2 Rozvoj DVB-T2 v České republice.....	- 16 -
2.5 SFN síť	- 16 -
3 Měření kvality příjmu DVB-T	- 17 -
3.1 Informace o měření	- 17 -
3.1.1 Měřené parametry.....	- 20 -
3.1.2 Použité přístroje a zařízení pro měření	- 20 -
3.2 Naměřené hodnoty a jejich grafické zobrazení	- 23 -
Závěr	- 31 -
Použitá literatura	- 32 -
Seznam příloh.....	- 34 -

Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá kvalitou příjmu digitálního televizního pozemského vysílání. V první kapitole práce je v krátkosti popsán způsob šíření digitálního televizního signálu z pozemních vysílačů. V kapitole druhé je na úvod popsán standard DVB, ale zbytek této kapitoly je již věnován standardu DVB-T. Uvedené jsou základní vlastnosti tohoto standardu, dále druhy příjmu, varianty systému, výhody a nevýhody, krátká historie, vysílání v České republice, jednofrekvenční síť SFN, druhá generace označovaná DVB-T2 a její porovnání s generací první. Také je zjednodušeně popsán princip činnosti tohoto standardu.

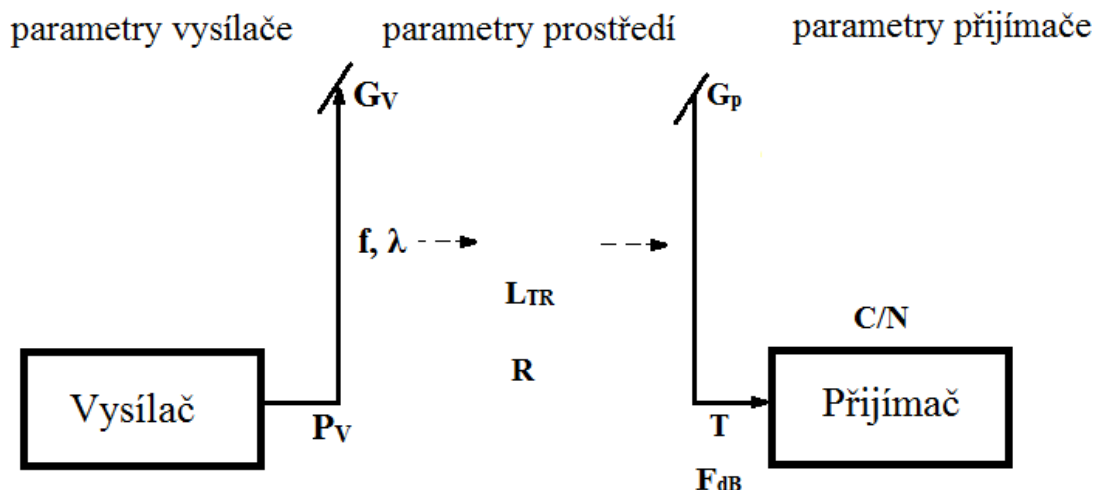
Kapitola třetí je věnována praktické části, která se zaměřuje na proměření vlivu natočení antény a vlivu výšky antény nad zemským povrchem na příjem televizního signálu. V úvodu této kapitoly jsou základní informace k měření (místo měření, parametry Multiplexu, parametry vysílače), a také seznam měřících přístrojů a měřených parametrů. Byly proměřeny a následně graficky zpracovány tyto parametry: úroveň signál V, poměr nosná/šum C/N, modulační chybovost MER, bitové chybovosti CBER a VBER. Proběhlo také subjektivní hodnocení kvality přijímaného signálu.

V závěru práce jsou naměřené hodnoty zhodnoceny a porovnány. V příloze jsou k dispozici tabulky naměřených hodnot a v příloze umístěné na CD jsou uvedeny technické údaje k měřicím přístrojům a zařízením. Na CD je i také k dispozici vyhláška č. 163 z roku 2008 - Vyhláška o způsobu stanovení pokrytí signálem zemského televizního vysílání.

1 Šíření televizního signálu

K přenosu televizních signálů z pozemských televizních vysílačů k přijímacím anténám se využívá elektromagnetického vlnění, šířící se volným prostorem (obrázek 1.1) [2]. Elektromagnetické vlny svým signálem pokrývají širokou oblast. Obě antény vysílají i přijímají, převádějí vysokofrekvenční napětí na elektromagnetické vlny a naopak. Vysílací anténa provádí přeměnu výstupního vysokofrekvenčního napětí z koncového stupně vysílače s namodulovaným televizním signálem na proměnlivé elektromagnetické pole do svého okolí a anténa přijímací převádí okolní elektromagnetické pole na vysokofrekvenční napětí.

Elektromagnetické vlnění má dvě složky – elektrickou a magnetickou. Obě tyto složky mění periodicky v čase svoji amplitudu (rozkmit). Počet period v daném časovém úseku se nazývá frekvencí. Elektromagnetické vlnění se šíří rozdílnými rychlostmi v různých prostředích (nejrychleji ve vakuu, kde se rychlost blíží rychlosti světla $c = 299\,792\,458\text{ m/s}$). V jiných prostředích se rychlost šíření pochopitelně zpomaluje, ovšem vliv atmosféry je však zanedbatelný, a proto můžeme považovat rychlost šíření rovnu rychlosti světla.



Obrázek 1.1: Šíření elektromagnetických vln prostředím

Šíření elektromagnetických vln ovlivňuje: délka vlny λ nebo frekvence f vysílaného signálu, vyzářený výkon vysílačem (tj. výkon vysílače P_V vynásobený směrovým účinkem vysílací antény G_V), vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem R a útlum prostředí L_{TR} . Na straně přijímací je rozhodující směrovost (neboli zisk) G_P antény. Přenos vyústí ve výkon přijímaného signálu C na vstupu přijímače. Součástí příjmu je také nežádoucí jev – šum, označovaný N . Šum je dán šumovou teplotou na vstupu přijímače T a celkovou šířkou přijímaného pásma B_{VF} . Zdrojem šumu je tepelný neklid v součástkách. Jedná se o náhodný proces, který je způsoben emisí elektronů.

Nejcitlivějším místem pro vznik tepelného šumu jsou vstupní obvody přijímačů, protože je v nich požadováno velké zesílení. Kvalita přijímačů se určuje pomocí šumového čísla F , které je obvykle udáváno v decibelech ($F_{db} = 10 \times \log F$). Nedokonalost přijímače se projevuje F - násobným zvětšením dosažitelného výkonu šumu proti přijímači bez šumu. Nižší hodnota znamená kvalitnější přijímač (kvalitní Set Top Boxy mají šumové číslo F menší než 8dB) [2].

1.1 Kmitočty kanálů pro III. – V. televizní pásmo

V následující tabulce 1.1 jsou uvedeny frekvence kanálů určených pro digitální pozemské televizní vysílání v České republice [4]. Pro standard DVB-T je vyhrazeno III. TV pásmo (174 – 230 MHz), IV. a V. TV pásmo 470 – 862 MHz [1].

Tabulka 1.1: Seznam kanálů určených pro DVB-T

Kanál	Kmitočtový rozsah kanálu [MHz]	Frekvence DVB-T [MHz]	Kanál	Kmitočtový rozsah kanálu [MHz]	Frekvence DVB-T [MHz]
5	174 – 181	177,5	41	630 – 638	634
6	181 – 188	184,5	42	638 – 646	642
7	188 – 195	191,5	43	646 – 654	650
8	195 – 202	198,5	44	654 – 662	658
9	202 – 209	205,5	45	662 – 670	666
10	209 – 216	212,5	46	670 – 678	674
11	216 – 223	219,5	47	678 – 686	682
12	223 – 230	226,5	48	686 – 694	690
			49	694 – 702	698
21	470 – 478	474	50	702 – 710	706
22	478 – 486	482	51	710 – 718	714
23	486 – 494	490	52	718 – 726	722
24	494 – 502	498	53	726 – 734	730
25	502 – 510	506	54	734 – 742	738
26	510 – 518	514	55	742 – 750	746
27	518 – 526	522	56	750 – 758	754
28	526 – 534	530	57	758 – 766	762
29	534 – 542	538	58	766 – 774	770
30	542 – 550	546	59	774 – 782	778
31	550 – 558	554	60	782 – 790	786
32	558 – 566	562	61	790 – 798	794
33	566 – 574	570	62	798 – 806	802
34	574 – 582	578	63	806 – 814	810
35	582 – 590	586	64	814 – 822	818
36	590 – 598	594	65	822 – 830	826
37	598 – 606	602	66	830 – 838	834
38	606 – 614	610	67	838 – 846	842
39	614 – 622	618	68	846 – 854	850
40	622 – 630	626	69	854 – 862	858

2 Standard DVB-T

Dříve než se začalo používat digitální televizní vysílání, tak se používalo vysílání analogové. Ale z několika důvodu bylo nutné zavést novou technologii. Těmi důvody byly převážně: požadavky provozovatelů televizních stanic na další vysílací kmitočty (bylo vyčerpáno kmitočtové spektrum pro analogovou televizi a nebylo možné zavádět další televizní stanice); diváci také požadovali větší počet stanic, kvalitnější obraz a zvuk; snaha o snížení energetické náročnosti zařízení a rozšíření o mobilní příjem. Tohle vše digitální televize splňovala a také navíc přinesla i některé jiné výhody [1].

2.1 DVB

Standard DVB (Digital Video Broadcasting) je určen k digitálnímu přenosu signálů obrazu, zvuku a dat k televiznímu divákovi [3]. Jedná se o mezinárodní společenství vytvořené televizními společnostmi, výrobci, síťovými operátory, vývojáři softwaru, regulačními organizacemi a dalšími zástupci. DVB bylo založeno v roce 1993. Od té doby se specifikace DVB staly normami v oblasti digitální televize, a to nejen v Evropě, ale i ve světě. Specifikace DVB vydává Evropský telekomunikační institut ETSI (European Telecommunications Standards Institute) ve spolupráci s Evropskou unií pro televizní a rozhlasové vysílání EBU (European Broadcasting Union).

Existují tři základní systémy digitálního vysílání:

- Digitální pozemské vysílání - DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial),
- Digitální kabelové vysílání - DVB-C (Digital Video Broadcasting – Cable),
- Digitální satelitní vysílání - DVB-S (Digital Video Broadcasting – Satellite) [1].

Jsou zachovány tyto společné principy a vlastnosti:

- Obrazová a zvuková data jsou komprimována pomocí standardu MPEG-2.
- Využívá se společného transportního toku dat TS (Transport Stream) a multiplexu.
- Je využito kanálové kódování ve formě blokového Reed-Solomonova kódu jako vnějšího ochranného kódu FEC1 (Forward Error Correction), u satelitního a pozemského vysílání také vnitřního ochranného kódu FEC2 ve formě konvolučního kódu s prokládáním (Interleaving) k ošetření shluku přenosových chyb.
- Využití různých kryptovacích systémů (jedná se o jednotný interface pro podmíněný přístup).
- Využívá se scramblingu dat pomocí pseudonáhodné posloupnosti pro zrovnoměření výkonového spektra signálu.
- Používá se společný systém služebních informací o právě vysílaném pořadu.

Systémy se ovšem liší v přeloženém pásmu vnějšími modulačními metodami, což je způsobeno různými šířkami kmitočtového pásma, úrovněmi zkreslení, rušení v přenosovém kanálu a rozdílnými vyzářenými výkony [3].

Tato bakalářská práce se ovšem zabývá vysíláním pozemským, který je více rozepsán v následujících kapitolách (kapitoly 2.2 až 2.5.).

2.2 Základní charakteristika DVB-T

Jedná se o digitální pozemské televizní vysílání. Realizuje se pomocí televizních vysílačů a přijímacích antén. Princip digitálního pozemského vysílání je založen: na digitalizaci vstupních obrazových a zvukových signálů, na redukci datového toku informace (odstranění redundance a irelevance), v kompresi signálů, ve vytvoření ochrany užitečného datového toku různými kódovacími metodami, v multiplexování (spojení více televizních programů do jednoho balíku), použitím digitálních modulací (QAM a QPSK) a aplikováním COFDM [1].

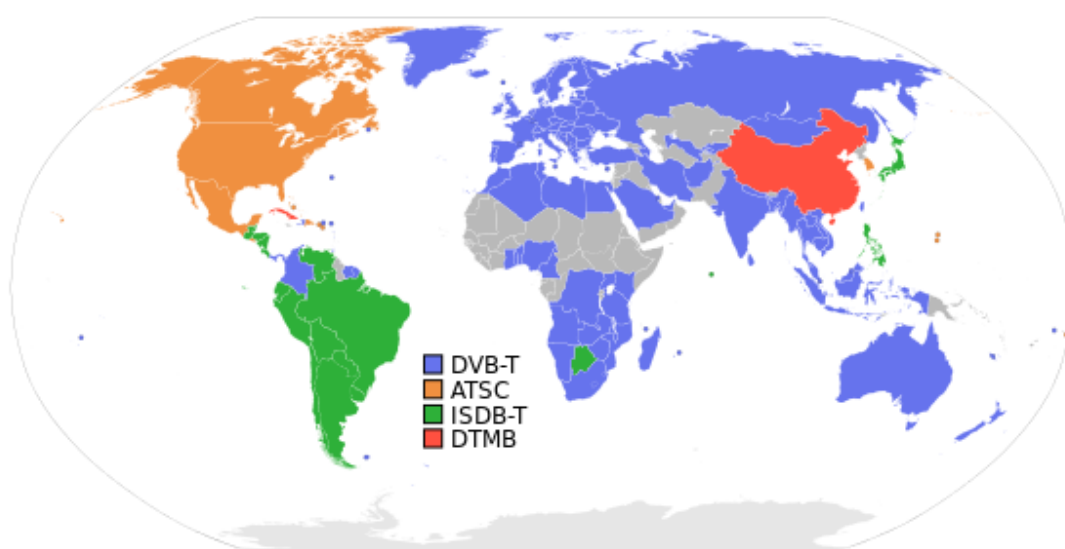
Systém DVB-T je charakterizován úzkými přenosovými kanály, velkým vysílacím výkonem a výrazným vlivem rušení - především odrazy. Kvůli odrazům dochází ke zvyšování bitové chybovosti BER (Bit Error Rate). Používá se modulace OFDM (ortogonálně dělený frekvenční multiplex). Tato modulace není citlivá oproti mnohacestnému šíření signálu [3]. Digitální televizi je určeno III. TV pásmo (174 - 230 MHz), IV. a V. TV pásmo (470 - 862 MHz). Signál se tedy šíří v oblasti velmi krátkých vln VHF (Very High Frequency) a ultrakrátkých vln UHF (Ultra High Frequency). Šířka kanálu může být 6, 7 nebo 8 MHz, ale používá se 8 MHz. Je tedy k dispozici spousta kanálů o frekvenční šířce 8 MHz [1].

Vlastnosti

Mezi základní vlastnosti digitálního pozemského vysílání patří:

- Využívá se multiplexování – jedná se o vysílání více televizních programů v jednom televizním kanále (nejčastěji 3 – 5 programů ve standardní kvalitě SDTV o rozlišení 720 x 576 bodů, poměr obrazu je 4:3) [1].
- Všechny uvedené programy spolu s daty lze vysílat z jednoho televizního vysílače (u analogového vysílání byly potřeba 2 vysílače – jeden pro obraz a druhý pro zvuk) [2].
- Může se přenášet několik typů zvukových doprovodů (od monofonního zvuku až po prostorový zvuk Dolby Digital AC3).
- Přenáší se i jiné datové toky – rozhlasové programy, služby za účelem zábavy a obchodu, a také doplňkové služby (elektronický programový průvodce EPG, multimediální platforma pro domácí přijímače MHP...).
- Pružná volba kvality zvuku a obrazu až do maximálního přenosového toku (možnost i vysokého rozlišení obrazu HDTV - 1920 x 1080 bodů, poměr obrazu je 16:9).
- Vysoká bezpečnost metod ochrany pro podmíněný přístup k placeným programům a službám CA (Conditional Access).

- Zlepšila se kvalita příjmu v oblastech s odrazy (u analogového přenosu byly rušivé, u nového digitálního přenosu díky ochrannému intervalu nemají až takový rušivý vliv).
- Přenos lze synchronizovat, a je tak možné vytvářet jednofrekvenční sítě SFN, což znovu vede k důležité frekvenční úspoře přenosových kanálů.
- Je možné použít přenosných přijímačů s jednoduchými anténami.
- Vysílačům na pokrytí území stačí menší vysílací výkon [1].
- Systém DVB-T byl v roce 1997 standardizován normou ETSI 300 744 [3].
- Na obrázku 2.1 [5] je zobrazeno, ve kterých zemích je standard DVB-T používán. Jedná se o ve světě nejrozšířenější standard.



Obrázek 2.1: *Digitální pozemní televizní systémy ve světě*

Druhy příjmu signálů DVB-T

Uvažují se čtyři druhy příjmu:

- Pevný příjem – za pomoci směrové antény, která je umístěna na střeše budovy.
- Přenosný příjem:
 - Vnější – příjem pomocí přenosného přijímače s připojenou nebo vestavěnou anténou mimo budovy, s anténou ve výšce maximálně 1,5 metrů nad zemí.
 - Vnitřní – příjem pomocí přepojené nebo vestavěné antény uvnitř budovy ve výšce maximálně 1,5 metrů nad podlahou v místnosti.
- Mobilní příjem – jedná se o příjem za pohybu pomocí jednoduché všesměrové antény umístěné maximálně 1,5 metrů nad zemí, nebo diverzitní příjem (je použito diverzitní přijímač a více všesměrových antén) [1].

Varianty systému DVB-T

Kombinací těchto parametrů lze vytvořit různé varianty systému DVB-T:

- Výběr modulace datových nosných
- Konvoluční zabezpečení FEC
- Délka ochranného intervalu D/T_u
- Mód OFDM modulace
- Šířka televizního kanálu
- Mód hierarchické modulace

Na další straně, v tabulce 2.1 jsou uvedeny varianty systému DVB-T se základními parametry. Červeně zvýrazněné varianty C2 a B2 jsou nejpoužívanější.

Tabulka 2.1: Základní parametry variant DVB-T

Varianta systému	Modulace	Kódový poměr	Gaussův kanál	Riceův kanál (F_1)	Rayleigho kanál (P_1)	Čistá bitová rychlost (Mbit/s) $D/T_u =$			
						1/4	1/8	1/16	1/32
A1	QPSK	1/2	3,1	3,6	5,4	4,98	5,53	5,85	6,03
A2	QPSK	2/3	4,9	5,7	8,4	6,64	7,37	7,81	8,04
A3	QPSK	3/4	5,9	6,8	10,7	7,46	8,29	8,78	9,05
A5	QPSK	5/6	6,9	8,0	13,1	8,29	9,22	9,76	10,05
A7	QPSK	7/8	7,7	8,7	16,3	8,71	9,68	10,25	10,56
B1	16QAM	1/2	8,8	9,6	11,2	9,95	11,06	11,71	12,06
B2	16QAM	2/3	11,1	11,6	14,2	13,27	14,75	15,61	16,09
B3	16QAM	3/4	12,5	13,0	16,7	14,93	16,59	17,56	18,10
B5	16QAM	5/6	13,5	14,4	19,3	16,59	18,43	19,52	20,11
B7	16QAM	7/8	13,9	15,0	22,8	17,42	19,35	20,49	21,11
C1	64QAM	1/2	14,4	14,7	16,0	14,93	16,59	17,56	18,10
C2	64QAM	2/3	16,5	17,1	19,3	19,91	22,12	23,42	24,13
C3	64QAM	3/4	18,0	18,6	21,7	22,39	24,88	26,35	27,14
C5	64QAM	5/6	19,3	20,0	25,3	24,88	27,65	29,27	30,16
C7	64QAM	7/8	20,1	21,0	27,9	26,13	29,03	30,74	31,66

Celkem je tedy na výběr z 60 variant, které mají přenosovou rychlostí od 4,98 Mbit/s do 31,66 Mbit/s. Používají se varianty B2 a C2. Varianta B2 je vhodná k přenosu 3 TV programů standardní kvality v jednom multiplexu bez použití statistického multiplexování (při použití je možné 4 TV programy bez vysílání dalších služeb). Varianta C2 je vhodná k přenosu 4 TV programů standardní kvality v jednom multiplexu bez použití statistického multiplexování (při použití je možné 5 TV programů bez vysílání dalších služeb). Tyto dvě nejpoužívanější varianty jsou porovnány na další straně v tabulce 2.2 [1].

Tabulka 2.2: Porovnání variant B2 a C2

	Varianta B2	Varianta C2
1. stupeň protichybové ochrany	RS kód (188, 204, 8)	RS kód (188, 204, 8)
2. stupeň protichybové ochrany	Konvoluční kód	Konvoluční kód
Vysílací mód	8k	8k
Modulace	16-QAM	64-QAM
Ochranný interval	$D/T_u = 1/4$	$D/T_u = 1/4$
Užitečný přenosový tok	13,27 Mbit/s	19,91 Mbit/s

2.2.1 Historie v České republice

- 12. 5. 2000 – spuštění prvního experimentálního vysílání v Praze [6].
- 2004 – pilotní projekt (Český Telecom).
- 21. 10. 2005 – bylo spuštěno pravidelné vysílání Multiplexu A (obsahoval programy České televize a Českého rozhlasu) v Praze.
- 2006 – vysílání bylo rozšířeno o další multiplexy (Multiplex B a Multiplex C), a také o další oblasti (Brno a Ostrava).
- 2008 – ukončení testovacího provozu.
- Říjen 2010 – dokončení výstavby prvního multiplexu [7].
- 2010 – postupný přechod z analogového vysílání na digitální vysílání [6].
- 11. 11. 2011 – Česká republika dokončila náročný projekt digitalizace televizního vysílání (byla jednou z prvních zemí střední a východní Evropy) [7].

2.2.2 Výhody a nevýhody

V této kapitole je popsáno, jaké výhody a nevýhody přinesla technologie digitálního pozemského televizního vysílání.

Výhody:

- Daleko lepší využití kmitočtového pásma, které je poměrně omezené, než u analogové televize. U analogové televize zabírá jeden vysílaný program 8MHz, u digitální televize se na 8MHz vysílá více televizních programů, a také navíc několik dalších telekomunikačních služeb, díky multiplexování. Počet programů v jednom multiplexu je různý, ale lze uvažovat o 4 až 6 programech ve standardní kvalitě SDTV.
- Oproti systémům analogových televizí (PAL, SECAM, NTSC) digitální televize umožňuje přenášet všechny tři barevné složky (RGB – červená, zelená, modrá) nezávisle je také zcela odstraněno rušení barev. To má za výsledek čistší obraz.

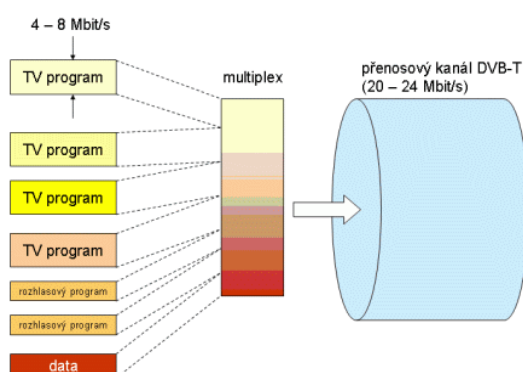
- Na pokrytí stejného území stačí podstatně nižší vysílací výkon vysílače. To je umožněno použitím typu modulace, u které pro dekódování stačí daleko menší odstup užitečného signálu od šumu. Díky nižšímu vysílacímu výkonu vysílače je tedy levnější.
- Umožňují formát obrazu s poměrem stran 16:9. Ten lépe odpovídá fyziologickým aspektům lidského vidění, a také navíc přináší lepší využití velkoplošných obrazovek. Je umožněno i široké využití vícekanalových zvukových systémů (Dolby Digital, DTS), které byly doposud známy jen z kin nebo DVD.
- Přenášejí se i jiné datové toky – rozhlasové programy a doplňkové služby jako je například teletext, služby pro nakupování a zábavu. Také přibyla nová doplňková služba EPG (Electronic Program Guide) – elektronický programový průvodce.
- Optimálně je využito kmitočtové spektrum, díky možnosti vybudování sítí SFN.
- Další výhodou se týká výrobců a prodejců set-top boxů nebo televizorů, které mají digitální tuner pro příjem DVB-T (iDTV).

Nevýhody:

- Nová technologie digitálního vysílání si vyžaduje investici do nových digitálních přijímačů (tzv. Set Top Boxů) nebo pořízení novějšího typu televizoru, který je vybaven digitálním tunerem pro příjem DVB-T (iDTV).
- I na vysílací straně je potřeba nových technologií, a proto provozovatelé vysílacích sítí museli investovat do výměny technologie (mimo stožáry a antény). Je tedy potřeba získat dostatečné množství peněz na vybudování sítě.
- Nekvalitní signál se projevuje výpadky obrazu i zvuku (krátkodobé zamrznutí obrazu, nebo černou obrazovkou na několik sekund) [8].

2.2.3 Vysílání v České republice

Jak již je zmíněno v kapitole 2.2, u systému DVB-T se využívá tzv. multiplexování. Na obrázku 2.2 je pro představu zobrazeno sestavování výsledného datového toku (multiplexu) [9].



Obrázek 2.2: *Multiplexování*

V současné době jsou v České republice k dispozici 4 vysílací sítě (multiplexy) [10] a 15 regionálních sítí [11] pro DVB-T.

Vysílací síť:

V tabulce 2.3 jsou uvedeny základní parametry všech 4 multiplexů, které jsou k dispozici pro vysílání v České republice. U každého multiplexu je jiný provozovatel: Multiplex 1 (veřejnoprávní síť) – Česká televize [12], Multiplex 2 – České Radiokomunikace a.s. [13], Multiplex 3 – Czech Digital Group a.s. [14] a Multiplex 4 – Digital Broadcasting s.r.o. [15].

Tabulka 2.3: *Porovnání základních parametrů jednotlivých multiplexů*

	Multiplex 1	Multiplex 2	Multiplex 3	Multiplex 4
Šířka pásma	8 MHz	8 MHz	8 MHz	8 MHz
Vysílací mód	8k	8k	8k	8k
Ochranný interval	1/4	1/4	1/8	1/8
Kódový poměr	2/3	2/3	3/4	2/3
Modulace	64 QAM	64 QAM	64 QAM	64 QAM
Celková bitová rychlost	19,10 Mbit/s	19,10 Mbit/s	24,88 Mbit/s	22,17 Mbit/s
Hierarchický mód	ne [12]	ne [13]	ne [14]	ne [15]

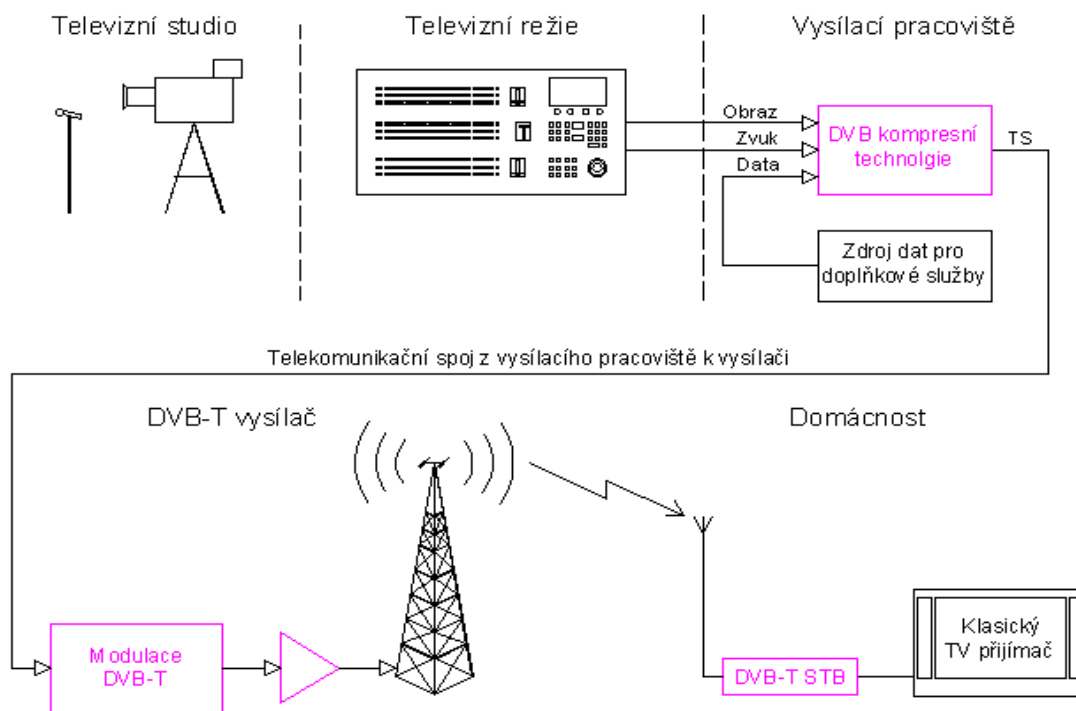
Televizní stanice vysílacích sítí (multiplexů):

- Multiplex 1 - ČT 1, ČT 2, ČT 24, ČT 4 Sport.
- Multiplex 2 - Nova, Nova Cinema, Prima TV, TV Barrandov, Prima COOL.
- Multiplex 3 - Prima Love, Prima ZOOM, Óčko, Óčko Gold, Šlágr TV, ČT:D/ČT art a Active TV.
- Multiplex 4 - TV Fanda, TV Smíchov, Telka TV, Nova Cinema, Pohoda RELAX, Pohoda REBEL a Inzert TV [10].

Regionální síť:

Pozemní digitální televizi v České republice nenaladíme jen v celoplošných multiplexech 1 - 4. Existuje i několik regionálních sítí, které šíří místní stanice, ale nabízejí také i programy známé z kabelové televize nebo satelitu. Regionální sítě jsou budovány do hustě zalidněných oblastí [16]. Aktuálně (březen 2014) je k dispozici na území České republiky 15 regionálních sítí a jejich počet by se ještě mohl navýšit [11].

2.3 Princip činnosti DVB-T



Obrázek 2.3: Televizní řetězec

Na obrázku 2.3 [17] je zobrazen televizní řetězec – jedná se o zjednodušené blokové schéma televizního řetězce. Nejdůležitější bloky (kompresní technologie, modulace a příjem DVB-T jsou blíže rozepsány na následujících stránkách.

2.3.1 Kompresní technologie

Televizní obraz a zvuk je nejprve zdigitalizován a následně spolu s datovými službami je přenášen společným datovým kanálem (tzv. multiplexem). Multiplex obvykle obsahuje 4 – 6 televizních programů ve standardní kvalitě SDTV, sadu rozhlasových programů a doplňkové služby (např. EPG nebo MHP). Kompresní technologie má za úkol zdrojové kódování a multiplexování.

Zdrojové kódování

Zdigitalizovaný obraz je velmi náročný z hlediska kapacity přenosového kanálu (přenosová rychlost je 270 Mbit/s), a tak je nutné obraz komprimovat. V systému DVB-T je zdigitalizovaný obraz komprimován do formátu MPEG-2. Komprese podle standardu MPEG je založena na redukci irelevantních a redundantních informací v obrazovém signálu.

Redukce irelevance je založena na znalosti lidského zraku. Lidský zrak je málokdy schopen rozeznat malé detaily obrazu, hlavně při rychlém pohybu, a tak je možné je vynechat.

Redukce redundance využívá, že po sobě následující snímky obrazového signálu se liší málo, a proto stačí přenášet jen rozdíly mezi nimi. MPEG-2 je kompresní systém ztrátový, tzn., že komprimovaný obraz nelze znovu rekonstruovat. Kompresi standardem MPEG je velmi účinná. Původní bitový tok obrazového signálu byl zhruba 166 Mbit/s a zredukovaný bitový tok je na 8 až 4 Mbit/s. Kompresní poměr je tedy 20:1 až 40:1

Zvuk je u systému DVB-T také přenášen v komprimované podobě. Používá se kompresní algoritmus MPEG-1, layer I nebo II pro dvoukanálový doprovod a MPEG-2, layer II pro vícekanálový doprovod. Zvukový komprimační algoritmus MPEG patří do rodiny tzv. procentuálních kmitočtových algoritmů. Tento algoritmus je založen na rozdělení kmitočtového spektra zvukového signálu do subpásem a aplikaci psychoakustického modelu lidského sluchu v každém subpásmu. Tento model zasahuje nejvýznamnější vlastnosti lidského sluchu – tzv. maskovací efekt (zvuky vysoké intenzity zamaskuje slabšími zvuky v daném subpásmu, a tak se nemusí přenášet) a nerovnoměrnost citlivosti lidského sluchu v celém akustickém spektru (křivky stejné hlasitosti). Kompresní algoritmy MPEG-1 a MPEG-2 jsou navzájem kompatibilní, a tak dekodér MPEG-2 dokáže plně dekodovat datový tok MPEG-1 a dekodér MPEG-1 dokáže dekodovat datový tok MPEG-2 (pouze základní část – stereofonní zvuk). Povolené bitové toky jsou 33 až 448 kbit/s u layeru I a 32 až 384 kbit/s u layeru II. Při přenášení vícekanálového zvuku se využívá rychlostí až do 682 kbit/s.

Multiplexování

Zakódované obrazové a zvukové signály se slučují do jednoho datového kanálu. Toto slučování se nazývá multiplexování a stará se o něj zařízení multiplexer. Zdrojové datové toky, které jsou generované videokodérem a audikodérem jsou prvně zavedeny do primárního (programového) multiplexeru. Zde jsou sloučeny společně s datovými toky doplňkových služeb. V praxi je často videokodér, audikodér a primární multiplexer tvořen jedním zařízením – DVB kodér.

Výstupní datový tok primárního multiplexeru (nebo DVB kodéru) je následně přiveden do sekundárního (transportního) multiplexeru. Ten má za úkol sloučení datových toků jednotlivých televizních programů s datovými toky doplňkových služeb do jednoho datového toku, který se nazývá transportní tok. Transportní multiplexer navíc vytváří servisní data, která identifikují jednotlivé komponenty výsledného transportního toku. Nebýt těchto servisních dat, které jsou uspořádaných do řad tabulek, byl by transportní tok jen nekonečnou řadou bitů. Tyto bity by již nebylo možné zpět dekodovat.

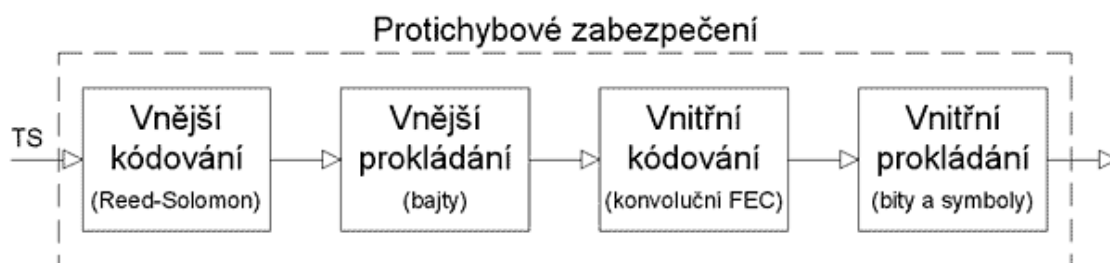
Digitální multiplexer, který je reprezentovaný transportním tokem, nejčastěji obsahuje 4 až 6 televizních programů (počet je dán kvalitou reprodukce).

2.3.2 Modulace

Na digitální signál, který je šířen z pozemních vysílačů, čeká mnohem více nástrah a překážek, než na signál šířený ze satelitu nebo kabelovým rozvodem. Využívá se tedy účinnější protichybové zabezpečení a robustní digitální modulace. Většinu těchto operací obstarává DVB-T modulátor.

Protichybové zabezpečení

Protichybové zabezpečení je několikasupňové (viz obrázek 2.4) [17] – vnější kódování pomocí Reed-Solomonova kódu a vnitřní kódování (FEC). Využívá se tzv. konvoluční kód. Tento kód umožňuje opravit v dekodéru určité procento chyb, které vznikly při přenosu transportního toku přenosovým kanálem. Vnější a vnitřní prokládání zabezpečuje přenos před shlukami chyb.



Obrázek 2.4: Bloky protichybového zabezpečení transportního toku DVB-T

Modulace OFDM

Zabezpečený transportní tok je již možno namodulovat. U systému DVB-T se používá modulační metoda OFDM. Tato metoda je založená na tom, že přenosový kanál obsahuje velký počet rovnoměrně rozmístěných dílčích subnosných vln (kmitočtů). Z toho vznikl i vlastně její název – ortogonální frekvenčně dělený multiplex. Jsou dva základní módy modulace:

- Mód 2k (1705 subnosných) - používá se jen ve Velké Británii.
- Mód 8k (6817 subnosných) - používá se v ostatních státech.

Z celkového počtu 6817 subnosných je 6048 aktivních (používají se k přenosu dat) a zbylých 769 referenčních (slouží k vzorkování kanálu). Každá subnosná vlna je modulována pomocí některého typu vícecestavové digitální modulace (QPSK, 16-QAM nebo 64-QAM). U modulace QPSK jedna subnosná vlna přenáší 2 bity informace, modulace 16-QAM 4 bity a modulace 64-QAM 6 bitů. Dochází tedy ke změně přenosu dat ze sériového na paralelní a zároveň k prodloužení trvání každého bitu (symbolu).

Modulace OFDM má několik zásadních výhod:

- Umožňuje provoz jednofrekvenčních sítí (SFN).
- Je skoro imunní proti chybám, které jsou způsobené vícecestným šířením a odrazy.
- Při vhodně zvolených parametrech modulace a topologie sítě lze přijímat signál mobilními přijímači a to i za pohybu (na příjem postačí jednoduchá anténa).
- Oproti analogovému provozu, kdy jeden vysílač přenášel pouze jediný televizní program, u DVB-T vysílač může přenášet až šest televizních programů, a to při stejném pokrytí signálem. Dochází tedy ke značné energetické úspoře.

2.3.3 Příjem DVB-T Set Top Box

Na příjem DVB-T není potřeba oproti příjmu analogové televize jinou přijímací anténu (signál je šířen ve stejných kmitočtových pásmech). Ve většině měst a přilehlých okolích by měla být taková intenzita signálu, aby byl umožněn bezproblémový příjem pokojovou anténou. Na zbylých územích je třeba použít anténu venkovní.

Set Top Box

Jedná se o samostatný přijímač pro DVB-T, který je koncipován jako doplněk pro analogový televizní přijímač. Má tedy za úkol umožnit sledování vysílání DVB-T na klasickém televizním přijímači. Vyrábějí se v různých provedeních, liší se hardwarovou a softwarovou výbavou. Tuner musí alespoň pokrýt pásmo UHF (21. až 69. kanál), ale některé zvládají i pásmo VHF.

iDTV

Jedná se o integrovaný digitální televizní přijímač – televizor, který je schopný přijímat digitální vysílání. Oproti Set Top Boxu se příliš neliší, ale výhodou je vyšší komfort obsluhy (k ovládání stačí pouze jeden dálkový ovladač, u Set Top Boxu potřebuje dva – jeden pro televizor a druhý k Set Top Boxu). Nevýhodou může být menší počet doplňkových služeb a variabilita zapojení. IDTV jsou vybaveny obrazovkou s formátem obrazu 16:9 [17].

2.4 DVB-T2

Jedná se o nástupnický standard digitálního televizního pozemského vysílání. Vychází tedy z původního standardu DVB-T. Druhá generace digitálního pozemského vysílání má oproti původní verzi několik změn, ale podstata systému zůstala stejná (opět se využívá multiplexování, datový tok je komprimován do formátu MPEG atd.). DVB-T2 umožňuje HDTV s vysokým rozlišením obrazu (1920 x 1080 bodů, poměr obrazu je 16:9). Efektivněji využívá frekvenční spektrum – v jednom televizním kanále lze přenášet až 20 TV stanic ve standardní kvalitě SDTV nebo až 5 programů ve vysoké kvalitě HDTV. Díky vysokému rozlišení obrazu (1920 x 1080 bodů) divák v každém záběru sleduje více než dva miliony bodů, tzn. pětikrát více než u standardního rozlišení. To má za následek daleko ostřejší obraz a dokonale syté barvy [18]. Porovnání digitálního pozemského vysílání druhé generace s generací první je v následující tabulce 2.4 [6].

Tabulka 2.4: Porovnání DVB-T s DVB-T2

	DVB-T	DVB-T2
FEC (kódový poměr)	Konvoluční kódování + Reed Solomon 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	LDPC + BCH 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
Modulace	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Ochranný interval	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/128, 1/8, 19/256, 1/16, 1/32, 1/128
Vysílací mód	2k, 8k	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k
Šířka kanálu	6, 7, 8 MHz	1,7, 5, 6, 7, 8, 10 MHz
Max. přenosová rychlost	31,7 Mbit/s (8 MHz)	45,5 Mbit/s (8 MHz)
Požadovaný poměr C/N	16,7 dB	10,8 dB

* LDPC (Low Density Parity Check); BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquengham)

2.4.1 Přínos DVB-T2

Pokročilejší digitální pozemská televize druhé generace přináší tyto výhody:

- Vyšší datový tok, který umožňuje ekonomický přenos HDTV
- Lepší zabezpečení přenosu
- Reálnější barvy a jejich přechod
- Krystalicky čistý obraz
- Až pětikrát podrobnější vizuální informace [18]

2.4.2 Rozvoj DVB-T2 v České republice

České Radiokomunikace uskutečnily v květnu 2010 historicky první testování v České republice. Test proběhl v Praze z Žižkovského vysílače. Mezi šířenými stanicemi byly ČT HD a Nova HD. Další testování DVB-T2, které proběhla v ČR, viz obrázek 2.5 [18].



Obrázek 2.5: Časový harmonogram testování DVB-T2 v České republice

V současné době (únor 2014) probíhá ještě testování a o spuštění nové technologie DVB-T2 se hovoří v souvislosti s rokem 2015 [19].

2.5 SFN síť

Jednofrekvenční síť SFN (Single Frequency Network) vznikly až s novou technologií digitálního vysílání. U analogového vysílání se nepoužívaly, a aby se vysílání nerušilo, každý vysílač musel vysílat na jiné frekvenci (multifrekvenční síť).

Výhody: Jednofrekvenční síť efektivně využívají kmitočtové pásmo (na jednom kmitočtu se šíří multiplex, který obsahuje více televizních programů, a také pokrývají poměrně rozlehlé území). Efektivnější vynaložení energie na vysílání. Dojde-li k únikům signálu (nejčastěji v hlubokém údolí) v pokrytí, je tu možnost tyto úniky vyplnit.

Nevýhody: Důležitost synchronizace (čas, frekvence a informace). Pokud některý vysílač porušuje pravidla jednofrekvenční sítě, ruší tak i ostatní vysílače. Nezbytně nutné neustálé monitorování vlastností SFN sítě [1].

3 Měření kvality příjmu DVB-T

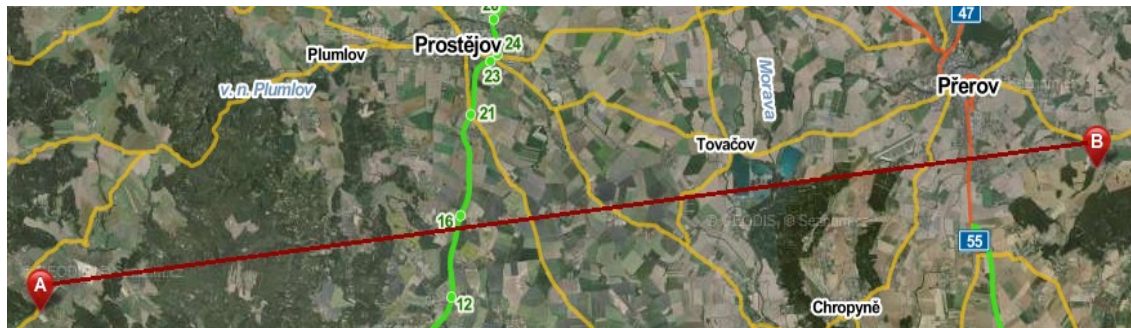
Úkolem bakalářské práce bylo proměření kvality příjmu digitálního televizního pozemského vysílání ve vhodně zvolené oblasti. Byl proměřen vliv natočení antény na příjem digitálního televizního signálu, a také vliv výšky umístění antény nad zemským povrchem na příjem digitálního televizního signálu.

3.1 Informace o měření

Pro měření bylo zvoleno vyvýšené místo s přímou viditelností na vysílač. Měření probíhalo v okolí Přerova, přesněji na jednom vyvýšeném místě za malou obcí Líšná, která leží přibližně 8 kilometrů od Přerova (na obrázku 3.1 bod B) [20]. Měření proběhlo v sobotu 16. listopadu 2013.

Byl proměřen Multiplex 1 (veřejnoprávní síť). V místě měření lze zachytit televizní signál Multiplexu 1 ze tří vysílačů: Kojál – Brno, Tlustá Hora – Zlín, Praděd – Jeseník [12]. Byl zvolen a proměřen signál z televizního vysílače Kojál (na obrázku 3.1 bod A) [20]. Základní informace o místě měření a o místě vysílače jsou uvedeny v tabulce 3.1 [20].

Natočení antény bylo měřeno po 10° a výška umístění antény ve 3, 4, 6, 8 a 10 metrech nad zemským povrchem. Celkem bylo tedy proměřeno 180 různých poloh (5 různých výšek, 36 různých natočení).



Obrázek 3.1: Mapa měření

Tabulka 3.1: Základní informace o místě měření a místě vysílače

	Kojál (Brno)	Líšná (Přerov)
Nadmořská výška	600 m n. m.	266 m n. m.
Vzdálenost	cca 53 km	
Souřadnice místa	LON: 16° 48' 59"	LON: 17° 32' 29"
	LAT: 49° 22' 11"	LAT: 49° 24' 53"

Parametry měřeného multiplexu - Multiplexu 1:

- Šířka pásma: 8 MHz
- Vysílací mód: 8k
- Ochranný interval: 1/4
- Kódový poměr: 2/3
- Modulace: 64 QAM
- Celková bitová rychlost: 19,10 Mbit/s
- Hierarchický mód: ne-hierarchický
- Televizní stanice: ČT1, ČT2, ČT24, ČT Sport [12]

Základní informace a parametry televizního vysílače Kojál:

Televizní vysílač Kojál se nachází na stejnojmenném vrcholu, který je 600 metrů vysoký, přibližně 25 km od Brna. Vysílač měří 340 metrů a jedná se o třetí nejvyšší stavbu v České republice. Jeho fotografie je na obrázku 3.2. Do provozu byl spuštěn 3. března 1959 a tehdy měřil 322 metrů [21]. Kojál vysílá 3 multiplexy (detailnější informace v tabulce 3.2) [22].

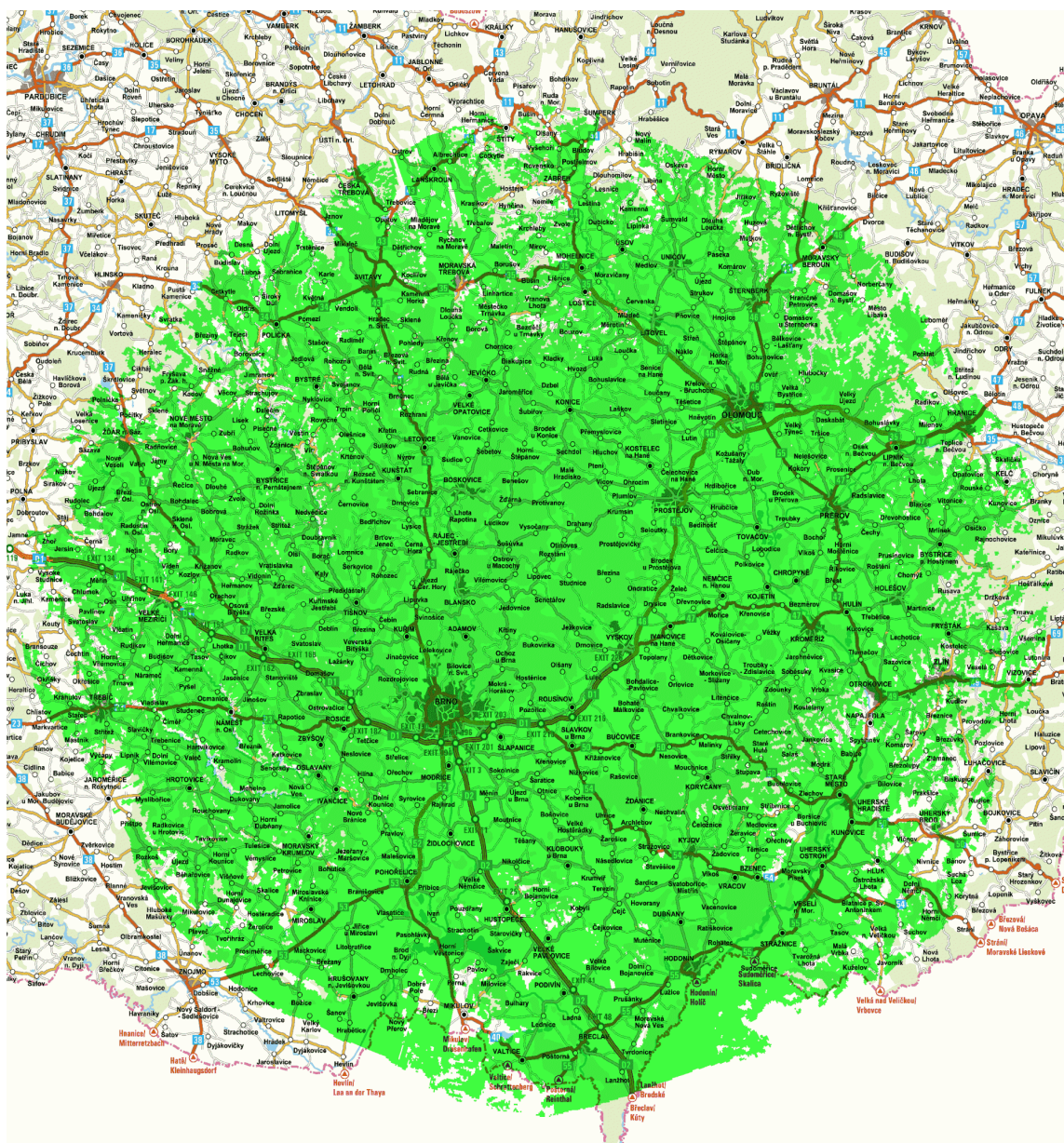
Tabulka 3.2: *Parametry vysílače Kojál pro Multiplex 1, Multiplex 2 a Multiplex 3*

Multiplex	Kanál	Výkon ERP [kW]	Polarizace	Kmitočtový rozsah kanálu [MHz]	Frekvence DVB-T [MHz]
MUX 1	29	100	horizontální	534 – 542	538
MUX 2	40	100	horizontální	622 – 630	626
MUX 3	59	100	horizontální	774 - 782	778



Obrázek 3.2: *Televizní vysílač Kojál*

Na následujícím obrázku 3.3 je uvedena mapa pokrytí signálem Multiplexu 1 z televizního vysílače Kojál [22]. Místo měření – v okolí Přerova je tedy signálem pokryto.



Obrázek 3.3: *Mapa pokrytí signálem Multiplexu 1 z televizního vysílače Kojál*

3.1.1 Měřené parametry

Pro měření kvality digitálního televizního signálu jsou důležité tyto parametry:

- **V** – úroveň signálu vyjádřena v dBμV. Hodnoty se pohybují okolo 35 – 70 dBμV a minimální hodnota pro kvalitní příjem je větší nebo rovna 45 dBμV.
- **C/N** – poměr nosná/šum ($C/N = \text{carrier/noise}$) vyjádřen v dB. V podstatě je to poměr užitečného signálu a úrovní šumu. Přijímače požadují minimální hodnotu C/N, aby signál byl správně dekodován. Tato hodnota by měla být alespoň 26 dB u varianty s modulací 64-QAM nebo 22 dB u varianty s modulací 16-QAM [1].
- **CBER** – bitová chybovost před korekcí. Tento parametr je bez jednotky. Minimální požadovaná hodnota je $2 \cdot 10^{-4}$ [23] a hodnoty pro stabilní příjem jsou menší nebo rovny $5 \cdot 10^{-4}$ [24].
- **VBER** – bitová chybovost po korekci. Tento parametr je opět bez jednotky. Minimální požadovaná hodnota je $2 \cdot 10^{-4}$ [23] a hodnoty pro stabilní příjem jsou menší nebo rovno $9 \cdot 10^{-5}$ [24].
- **MER** – chybovost modulace vyjádřená v dB. Velice důležitý parametr, na kterém závisí výsledná kvalita přijímaného obrazu a zvuku, ale i také samostatná výsledná chybovost BER. Minimální hodnota by měla být v rozmezí 22 - 24 dB (optimálně nad 25 dB) pro modulaci 64-QAM a 16 - 18 dB (optimálně nad 18 dB) pro modulaci 16QAM [1].
- **Subjektivní hodnocení kvality** – tento parametr se provádí tak, že se po dobu přibližně tří minut sleduje pomocí měřicího přístroje obraz i zvuk vybraného programu z měřeného multiplexu a určí se kvalita subjektivně. Toto hodnocení je třístupňové – Q1, Q3 a Q5:
 - Q1 - kvalita špatná, časté výpadky, přijímač se nezasynchronizuje,
 - Q3 - kvalita dobrá, jednotlivý mžikový výpadek,
 - Q5 - kvalita výborná, nepozorovatelné závady v kvalitě obrazu a zvuku [23].

3.1.2 Použité přístroje a zařízení pro měření

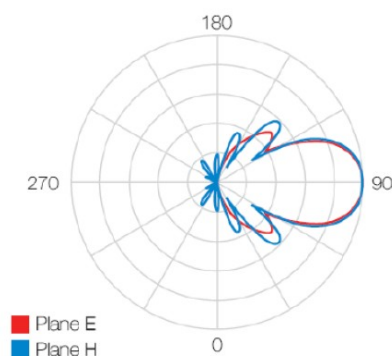
Při měření byly použity tyto přístroje a zařízení:

- **Směrová anténa typu Yagi pro příjem DVB-T – Televes 1044,**
- **TV analyzátor - SEFRAM 7825TM,**
- **Stožár pro umístění antény - CLARK MASTS SQT10HP,**
- **Koaxiální kabel s BNC konektory na propojení antény a TV analyzátoru, dlouhý 15 metrů.**

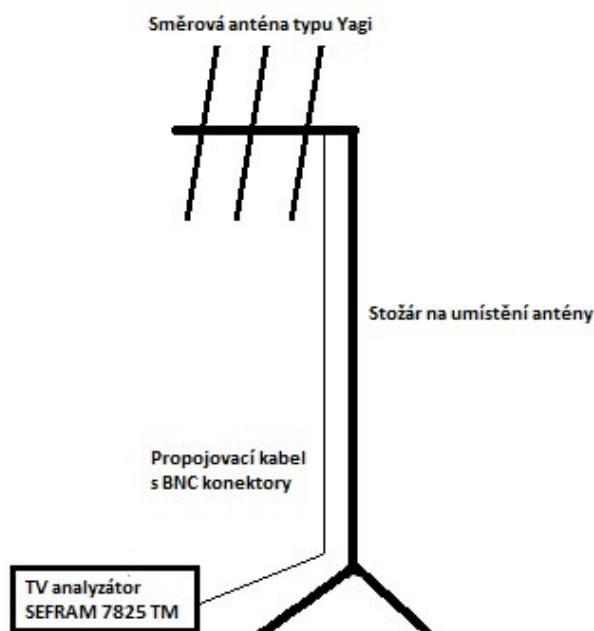
Schéma zapojení přístrojů je na obrázku 3.5, na další straně. Technické parametry přijímací antény jsou také na další straně. Zbylé technické dokumenty k měřicím přístrojům jsou v příloze na CD. CD také obsahuje vyhlášku č. 163 z roku 2008.

Parametry přijímací antény - Televes 1044:

- Rozsah kanálů: 21. – 69. TV kanál
- Zisk: 16,5 dB
- Délka antény: 1290 mm
- Předozadní poměr typ.: 26 dB
- Větrná zátěž při 800N/m² (130km/h) = 106,5N
- Větrná zátěž při 1100N/m² /150km/h) = 146,5N
- Vyzařovací diagram je na obrázku 3.4 [25]



Obrázek 3.4: Vyzařovací diagram antény

Schéma zapojení:

Obrázek 3.5: Schéma zapojení pro měření

Součástí práce bylo také vymyslet nastavování výšky antény nad zemským povrchem a natočení antény. Bylo to z důvodu, že na používaném stožáru nebylo možné tyto parametry, jak nastavit. Výška byla určována pomocí pásmového metru, který byl přivázan k anténě (viz obrázek 3.6.). Natočení antény bylo zajištěno pomocí lanka, kterým se anténa na stožáru otáčí. Byla zjištěna délka lanka pro otočení o 360°, a ta následně podělena 36 (36 proto, že bylo 36 různých natočení). Délka lanka pro natočení o 10° byla přibližně 28 cm.

Na následujícím obrázku 3.6 je fotografie pořízená při měření.



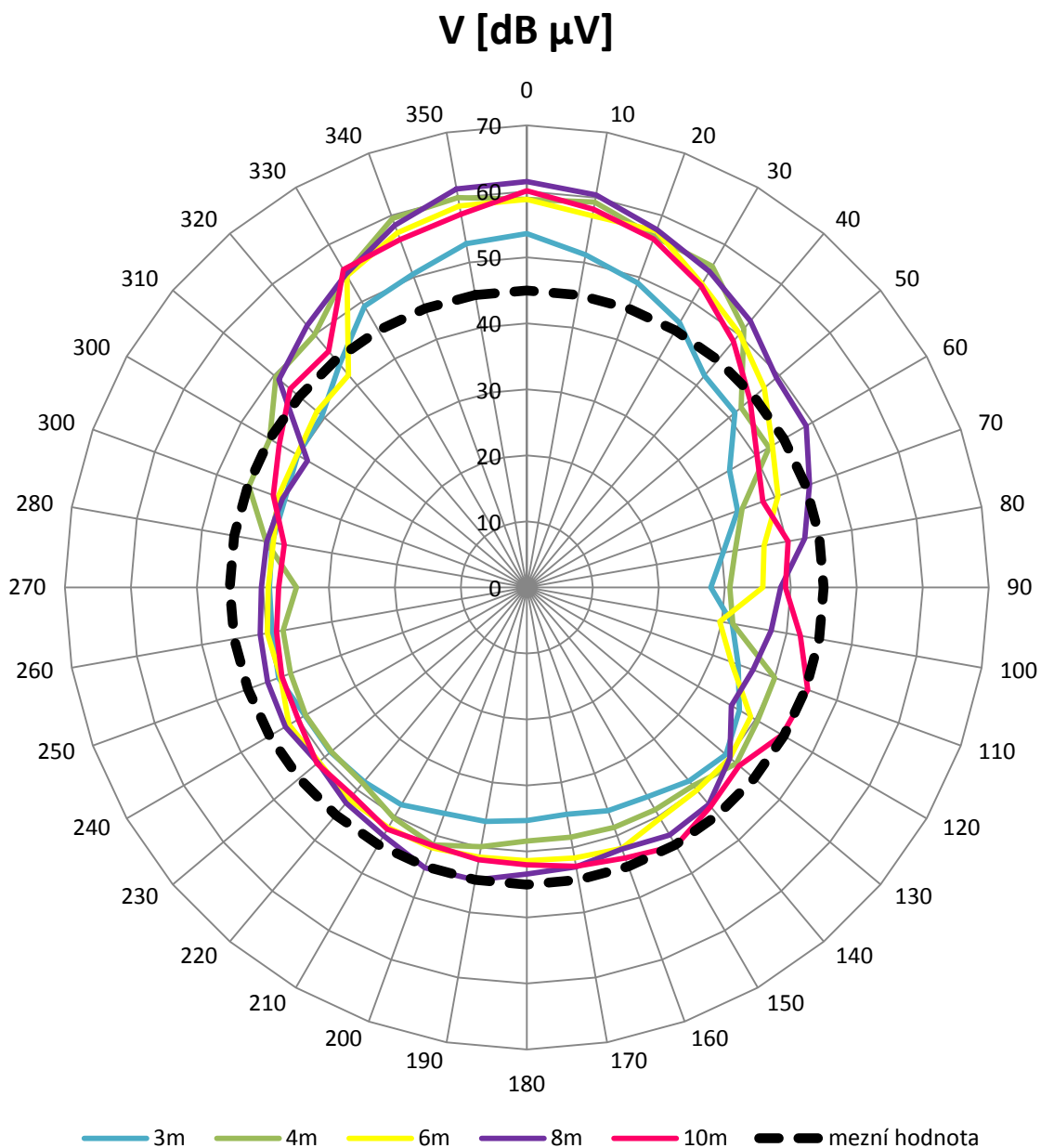
Obrázek 3.6: *Fotografie měřicích zařízení z dne měření*

3.2 Naměřené hodnoty a jejich grafické zobrazení

V tabulce 3.3 jsou naměřené hodnoty, kdy anténa byla umístěna na stožáru ve výšce 10 metrů nad zemským povrchem. V této výšce byly naměřené hodnoty nejkvalitnější. Zbylé tabulky naměřených hodnot (tabulky A.1 až A.4) pro 3, 4, 6 a 8 metry jsou uvedeny v příloze A.

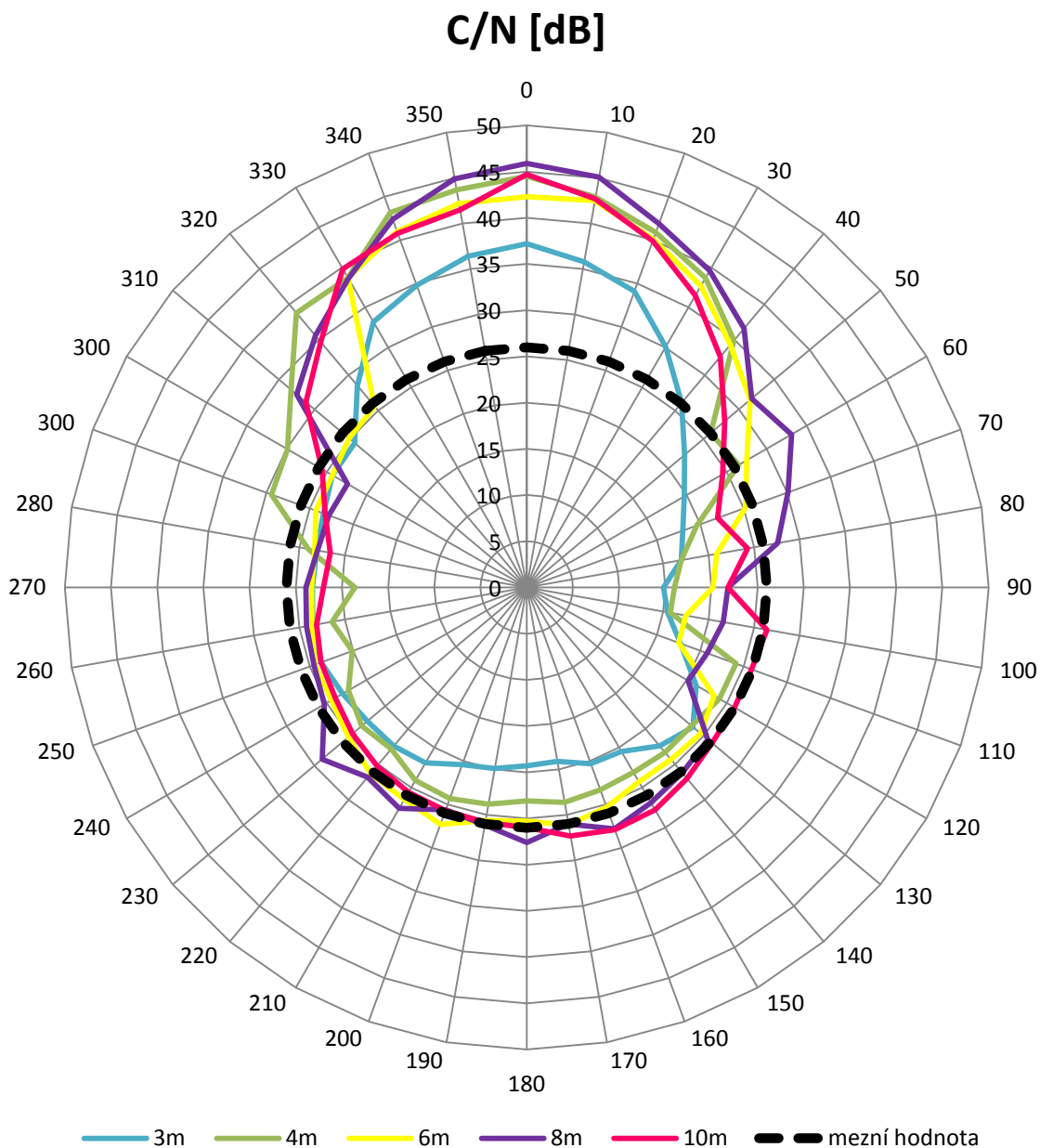
Tabulka 3.3: Naměřené hodnoty pro anténu umístěnou 10 metrů nad zemským povrchem

Výška [m]	Úhel [°]	Úroveň (level)		Chybovosti BER a MER			Subjektivní hodnocení kvality [-]
		V [dBμV]	C/N [dB]	CBER [-]	VBER [-]	MER [dB]	
10	0	58,3	42,7	$3,5 \cdot 10^{-5}$	$9,0 \cdot 10^{-9}$	28,3	Q5
	10	60,1	44,7	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-9}$	28,6	Q5
	20	56,2	39,9	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	26,3	Q5
	30	52,8	36,5	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$	25,4	Q5
	40	48,7	32,6	$8,6 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-6}$	21,5	Q1
	50	44,2	28,0	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$6,5 \cdot 10^{-5}$	16,8	Q1
	60	40,3	24,5	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	15,0	Q1
	70	38,1	22,0	$5,6 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	12,3	Q1
	80	40,2	24,3	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	11,6	Q1
	90	39,2	21,8	$5,8 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	10,9	Q1
	100	42,1	26,4	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$	10,8	Q1
	110	45,3	25,9	$3,6 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	12,9	Q1
	120	44,7	26,0	$5,7 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	13,7	Q1
	130	42,0	26,2	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	15,1	Q1
	140	43,3	27,0	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	15,6	Q1
	150	45,2	27,8	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	16,0	Q1
	160	43,6	27,9	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	15,9	Q1
	170	42,9	27,3	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	14,7	Q1
	180	42,0	26,0	$3,8 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$	16,3	Q1
	190	41,9	25,8	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	14,2	Q1
	200	41,6	25,7	$3,6 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	14,3	Q1
	210	42,3	25,6	$5,1 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	13,9	Q1
	220	41,1	25,2	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	14,0	Q1
	230	41,5	24,6	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	13,8	Q1
	240	40,0	23,9	$5,7 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	12,0	Q1
	250	39,5	23,7	$6,3 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	12,1	Q1
	260	38,5	23,1	$6,2 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	14,5	Q1
	270	37,6	22,0	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$	12,2	Q1
	280	37,3	21,6	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	12,1	Q1
	290	40,9	23,2	$6,1 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	14,3	Q1
	300	43,3	25,6	$7,6 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	16,5	Q1
	310	46,8	31,2	$8,5 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	18,9	Q1
	320	46,7	34,7	$7,0 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$	20,9	Q1
	330	55,6	39,8	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$5,7 \cdot 10^{-8}$	25,0	Q3
	340	56,1	40,8	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-8}$	25,7	Q5
	350	57,4	41,5	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-9}$	26,5	Q5



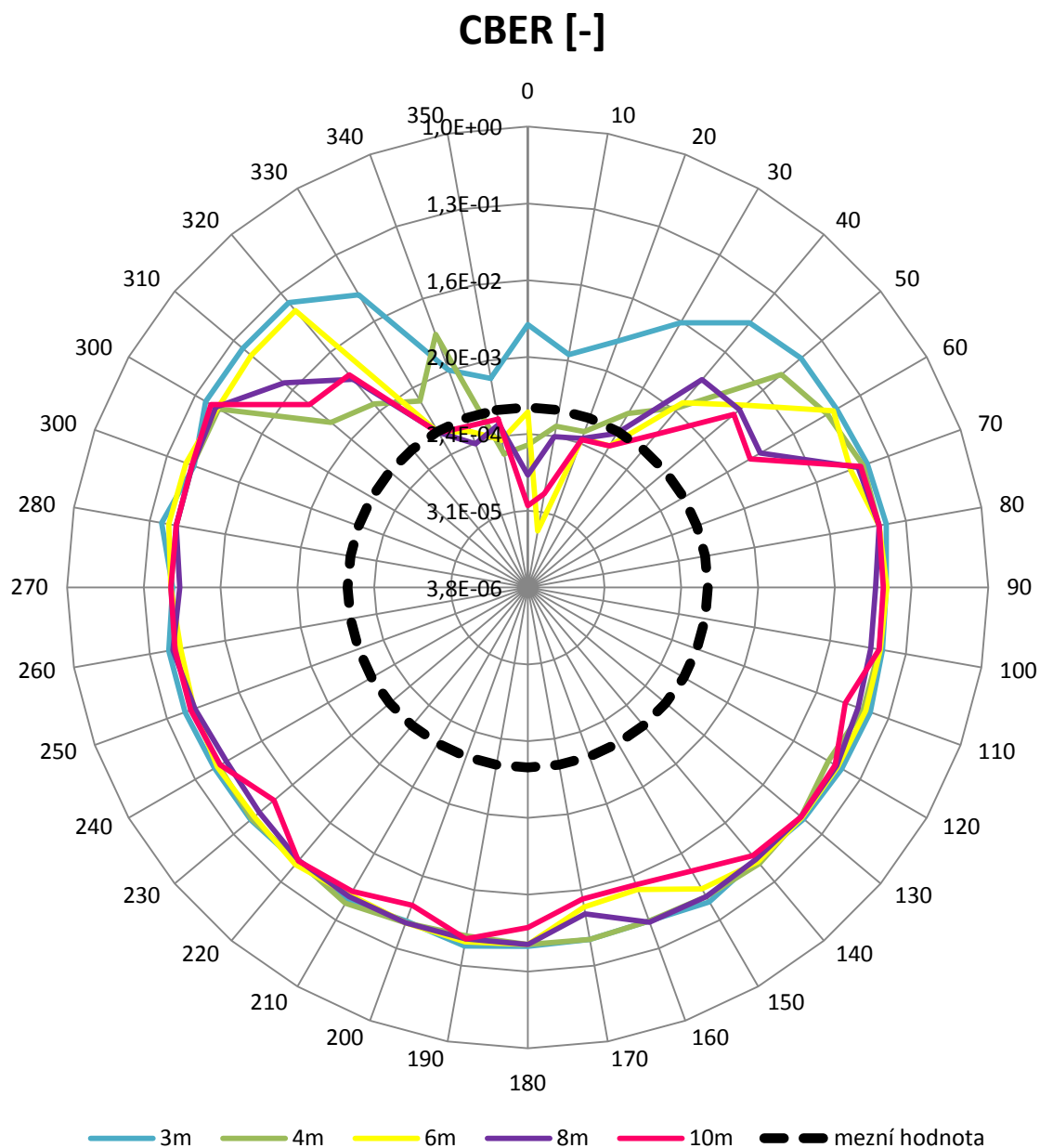
Obrázek 3.7: Graf naměřených hodnot pro úroveň signálu V v dB μ V

Na obrázku 3.7 jsou zobrazeny naměřené hodnoty pro úroveň signálu V . Tento parametr se udává v dB μ V. Hodnoty pro bezporuchový kvalitní příjem jsou větší nebo rovny 45dB μ V. Hodnoty byly splněny v nejnižší výšce (3 metry nad zemským povrchem) v rozmezí 330° - 30°. S vyšší výškou se úhel natočení s hodnotami pro kvalitní příjem samozřejmě zvyšoval. V nejvyšší výšce (10 metrů nad zemským povrchem) byly hodnoty splněny v rozmezí úhlu natočení 310° - 50°.



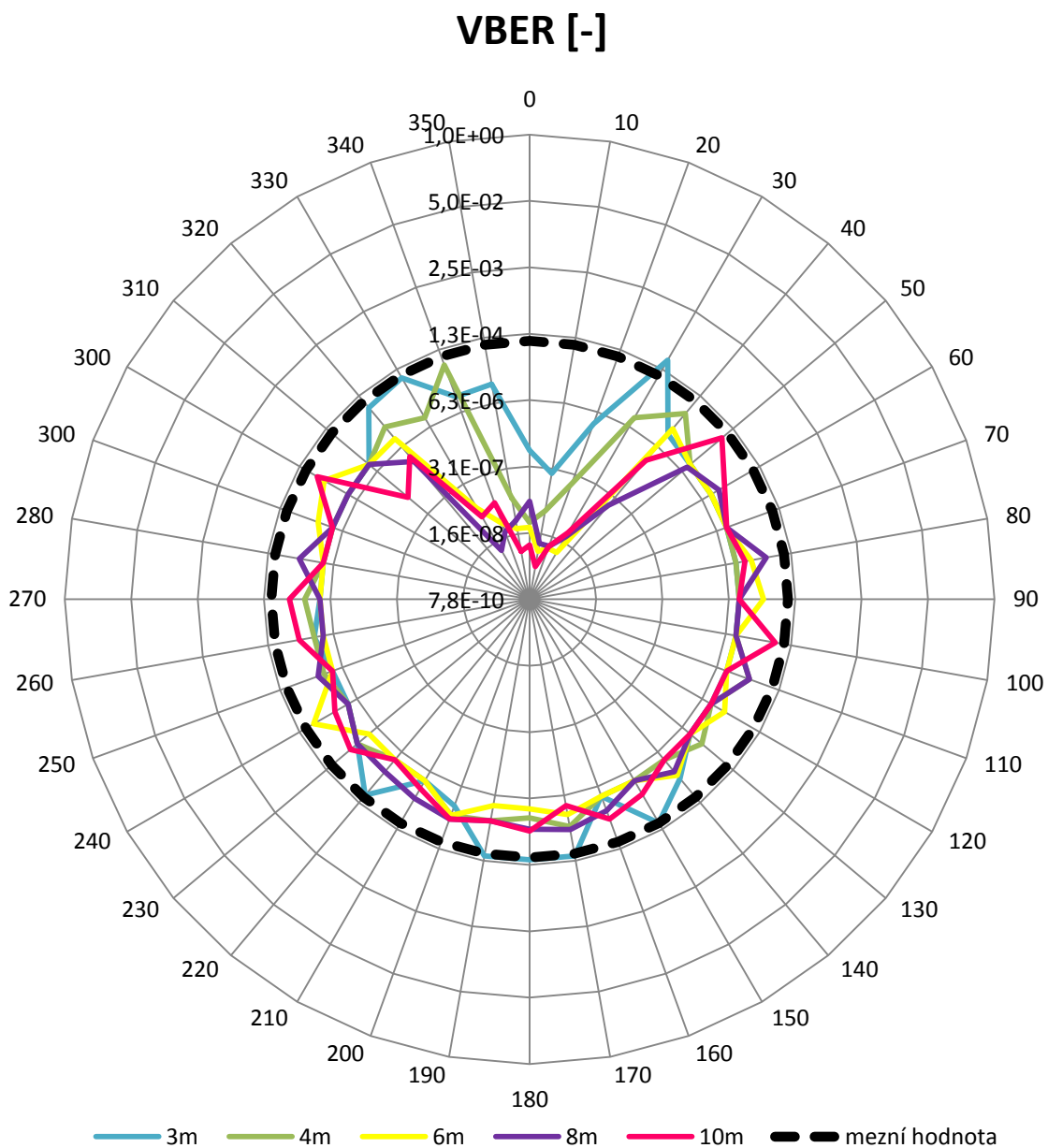
Obrázek 3.8: Graf naměřených hodnot pro úroveň nosné/šumu C/N v dB

Na obrázku 3.8 jsou zobrazeny naměřené hodnoty pro poměr nosná/šumu C/N. Tento parametr se udává v dB. Hodnoty pro bezporuchový kvalitní příjem jsou větší nebo rovno 26 dB. Tyto hodnoty byly splněny v nejnižší výšce pro natočení v rozmezí 320° - 40°. Ve vyšších výškách se úhel natočení zvětšoval a v nejvyšší byl v rozmezí 310° - 50°.



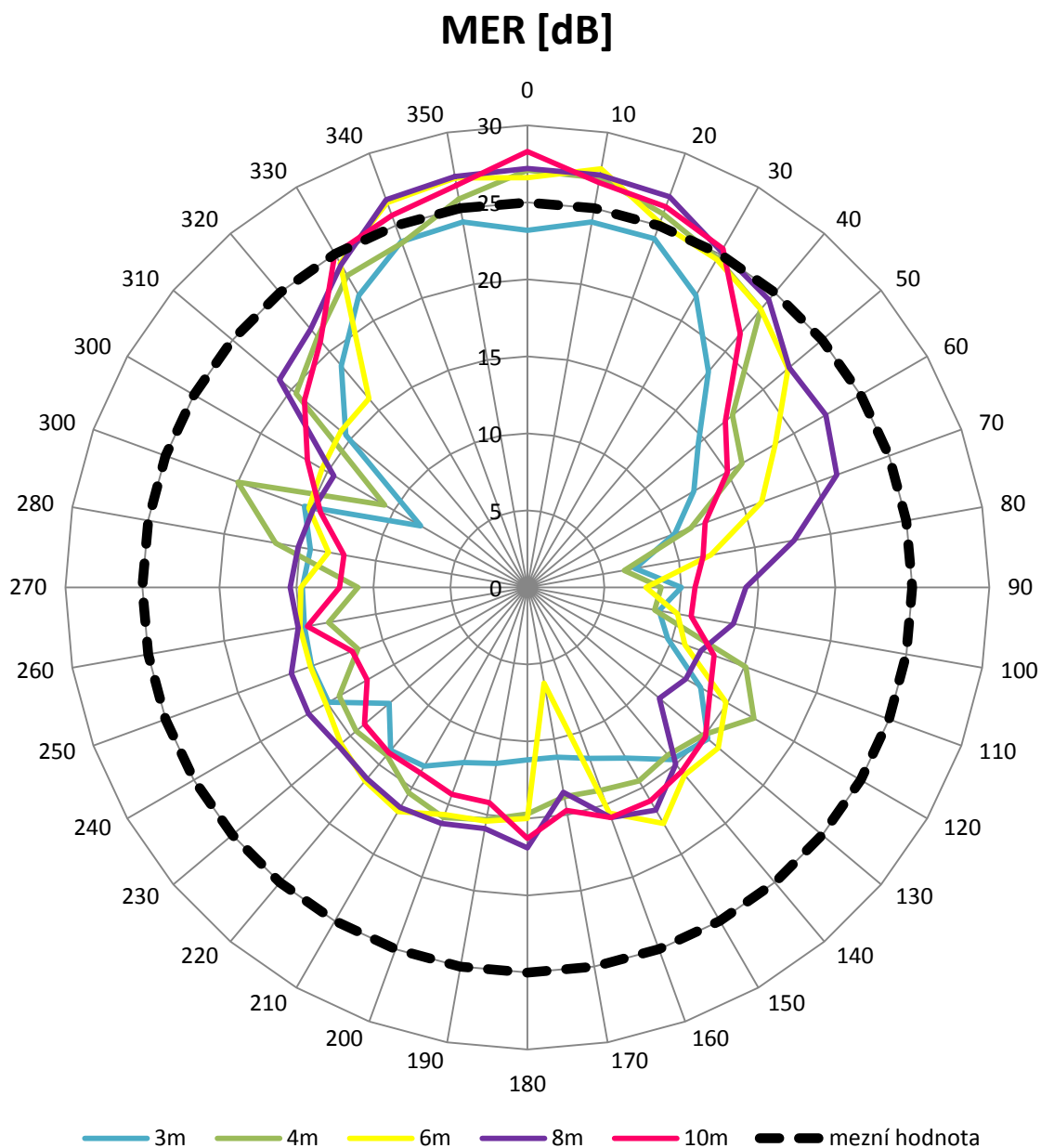
Obrázek 3.9: Graf naměřených hodnot pro bitovou chybovost před korekcí CBER

Na obrázku 3.9 jsou zobrazeny naměřené hodnoty pro bitovou chybovost před korekcí označovanou CBER. Tento parametr je bez jednotky. Hodnoty pro bezporuchový kvalitní příjem jsou menší nebo rovno $5 \cdot 10^{-4}$. Tyto hodnoty byly splněny jen v rozmezí $330^\circ - 30^\circ$ (v 6, 8, a 10 metrech). Ve 4 metrech byl úhel menší ($350^\circ - 20^\circ$) a ve 3 metrech nebyly hodnoty pro tento parametr splněny v žádném měření.



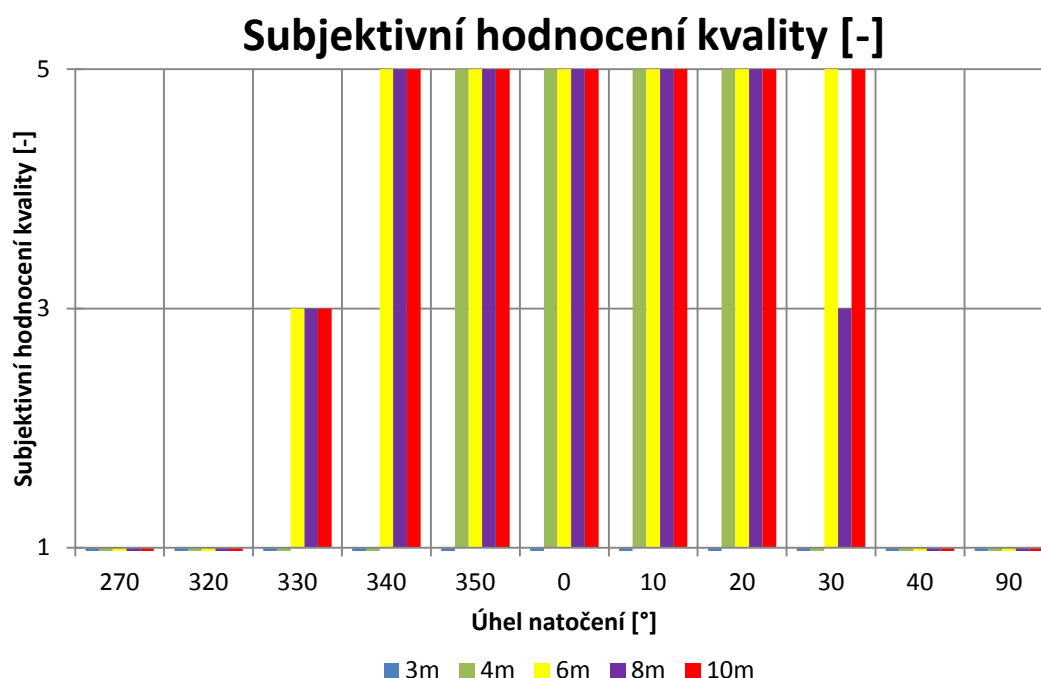
Obrázek 3.10: Graf naměřených hodnot pro bitovou chybovost po korekci VBER

Na obrázku 3.10 jsou zobrazeny naměřené hodnoty pro bitovou chybovost po korekci označovanou VBER. Tento parametr je opět bez jednotky. Hodnoty pro bezporuchový kvalitní příjem jsou menší nebo rovny $9 \cdot 10^{-5}$. Tyto hodnoty byly splněny takměř v každém měření.



Obrázek 3.11: *Graf naměřených hodnot pro modulační chybovost MER v dB*

Na obrázku 3.11 jsou zobrazeny naměřené hodnoty pro modulační chybovost MER. Tento parametr je uveden v dB. Hodnoty pro bezporuchový kvalitní příjem jsou větší nebo rovny 25 dB. Tyto hodnoty byly splněny opět jen v rozmezí 330° - 30° pro výšky 6, 8 a 10. Ve 4 metrech byl úhel menší (350° - 20°) a ve 3 metrech nebylo minimum pro bezporuchový příjem splněno u žádného měření.



Obrázek 3.12: Graf hodnot pro subjektivní hodnocení kvality

Kvůli přehlednosti jsou v obrázku 3.12 zobrazeny pouze subjektivní hodnocení kvalit Q5 a Q3. Z obrázku je patrné, že signál byl kvalitní nebo s mírnými výpadky (kvalita Q5 nebo Q3) a na TV analyzátoru se dala sledovat televizní stanice z měřeného multiplexu, v rozmezí natočení $330^\circ - 30^\circ$ (tedy $\pm 30^\circ$ od přímého natočení na vysílač). Ve 3 metrech, nejnížší výšce, nebyla kvalita dostatečná a všechny hodnoty byly ohodnoceny Q1. Ve 4 metrech nad zemským povrchem byla již kvalita Q5 a to rozmezí $350^\circ - 20^\circ$. V 6, 8 a 10 metrech byly kvalitní hodnoty nebo hodnoty s mírnými výpadky (Q5 nebo Q3) v rozmezí $330^\circ - 30^\circ$.

Na další straně, v tabulce 3.4, jsou porovnány naměřené hodnoty všech parametrů ve všech výškách, ale pouze v úhlu natočení v rozmezí $330^\circ - 30^\circ$, tedy v natočení, kde byly hodnoty kvalitní pro příjem televizního signálu.

Tabulka 3.4: Porovnání naměřených hodnot pro natočení 330° - 30°

Výška [m]	Úhel [°]	Úroveň (level)		Chybovosti BER a MER			Subjektivní hodnocení kvality [-]
		V [dBμV]	C/N [dB]	CBER [-]	VBER [-]	MER [dB]	
3	330	49,2	33,2	$3,6 \cdot 10^{-2}$	$8,0 \cdot 10^{-5}$	21,9	Q1
	340	50,5	34,8	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	23,9	Q1
	350	52,9	36,4	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	24,1	Q1
	0	53,6	37,2	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$6,5 \cdot 10^{-7}$	23,2	Q1
	10	51,2	35,8	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-7}$	24,1	Q1
	20	49,1	34,1	$4,6 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-6}$	24,1	Q1
	30	46,3	30,1	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	21,9	Q1
4	330	54,9	38,7	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	23,4	Q1
	340	59,5	43,2	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$	23,8	Q1
	350	60,0	43,7	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-8}$	25,6	Q5
	0	58,8	44,5	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$	27,1	Q5
	10	59,3	42,9	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$4,5 \cdot 10^{-8}$	27	Q5
	20	56,6	40,9	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$	25,8	Q5
	30	56,2	38,7	$8,8 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	24,7	Q1
6	330	54,5	38,7	$4,9 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-8}$	24,3	Q3
	340	57,2	41,0	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$	26,6	Q5
	350	58,7	42,2	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	27,0	Q5
	0	58,8	42,3	$4,4 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	26,6	Q5
	10	57,2	42,5	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$7,0 \cdot 10^{-9}$	27,6	Q5
	20	57,5	40,1	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-9}$	25,2	Q5
	30	53,1	37,7	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-9}$	24,6	Q5
8	330	54,8	38,6	$4,9 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	24,2	Q3
	340	58,4	42,4	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	26,8	Q5
	350	61,3	44,9	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	27,1	Q5
	0	61,5	45,9	$8,0 \cdot 10^{-5}$	$6,5 \cdot 10^{-8}$	27,2	Q5
	10	60,4	45,1	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	27,9	Q5
	20	57,7	41,9	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	27	Q5
	30	55,3	39,6	$4,7 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	25,2	Q3
10	330	55,6	39,8	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$5,7 \cdot 10^{-8}$	25,0	Q3
	340	56,1	40,8	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-8}$	25,7	Q5
	350	57,4	41,5	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-9}$	26,5	Q5
	0	58,3	42,7	$3,5 \cdot 10^{-5}$	$9,0 \cdot 10^{-9}$	28,3	Q5
	10	60,1	44,7	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-9}$	28,6	Q5
	20	56,2	39,9	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	26,3	Q5
	30	52,8	36,5	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$	25,4	Q5

Závěr

Naměřené hodnoty a jejich grafické zobrazení se vztahují pouze k tomuto měření (poměrně větší vzdálenost od vysílače – 53 km, přímá viditelnost na vysílač, místo bez odrazů). Samozřejmě, že měření v jiných místech (místa s odrazy, místa s překážkami, blíže k vysílači či dále od vysílače nebo měření v oblasti vysílačů, které vysílají na stejném kmitočtu – v oblasti jednofrekvenčních sítí) by měly za následek jiné naměřené hodnoty.

Z měření vyplývá, že skutečně pro příjem televizního signálu je ovlivňující, v jaké výšce je anténa nad zemským povrchem umístěna. Ve vyšších výškách byly naměřené hodnoty logicky kvalitnější, než ve výškách nižších. To samé platí i o natočení antény – příjem signálu je ovlivněn i natočením antény. V přímém natočení antény na vysílač (0°) byly samozřejmě hodnoty nejkvalitnější a s postupným natáčením se hodnoty zhoršovaly. Ve vyšších výškách (6, 8 a 10 metrů nad zemským povrchem) bylo hraničním natočením $\pm 30^\circ$, kde hodnoty již byly na hraně minima a někdy s mírnými výpadky (subjektivní hodnocení Q3).

Pro příjem digitálního televizního signálu je tedy nejlepší umístit anténu co nejvýše je to možné, nejlépe na střechu budovy. Samozřejmě lze přijímat signál i v nižších výškách, ale tam je potřeba přesnější natočení antény na vysílač a hodnoty nebudou až tak kvalitní, což může vést k horšímu příjmu.

Použitá literatura

- [1] LEGÍŇ, Martin. Televizní technika DVB-T. 1. vyd. Praha: BEN, 2006, 286 s. ISBN 978-80-7300-204-3.
- [2] BEDNÁŘ, Jiří a Pavel GREGORA. Příjem DVB-T. 1. vyd. Praha: BEN, 2007, 134 s. ISBN 978-80-7300-221-3.
- [3] ŘÍČNÝ, Václav a Tomáš KRATOCHVÍL. Základy televizní techniky - Přednášky. 1. vyd. Brno: 2004, 160 s. ISBN 80-214-2686-1.
- [4] Kanály a kmitočty, vzájemný převod. *Digitalnitemlevize.cz* [online]. [vid. 2014-3-22]. Dostupné z: http://www.digitalnitemlevize.cz/informace/dvb-t/kanaly-a-kmitocty-prevod.html?anketa_vysledky_hlasovani=103&anketa_id=22&cache=ne
- [5] DVB-T. *En.wikipedia.org* [online]. [vid. 2014-2-22]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/DVB-T>
- [6] Rádiové sítě I – přednášky. *Moodle.kat440.vsb.cz* [online]. [vid. 2014-2-22]. Dostupné z: <http://moodle.kat440.vsb.cz/mod/folder/view.php?id=4040>
- [7] O pozemním digitálním vysílání. *Digistranky.cz* [online]. [vid. 2014-3-13]. Dostupné z: <http://www.digistranky.cz/prakticke-informace/o-digitalnim-vysilani.html>
- [8] Výhody a nevýhody digitální televize. *Ceskatelevize.cz* [online]. [vid. 2014-3-13]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/vse-o-ct/technika/digitalni-vysilani-dvb-obecne/vyhody-a-nevyhody-digitalni-televize>
- [9] Souhrnný datový tok, alias multiplex. *Digizone.cz* [online]. [vid. 2014-3-22]. Dostupné z: <http://www.digizone.cz/specialy/jak-funguje-dvb-t/datovy-tok-multiplex>
- [10] Digitální vysílací sítě (multiplexy) v České republice. *Digitalnitemlevize.cz* [online]. [vid. 2014-3-22]. Dostupné z: <http://www.digitalnitemlevize.cz/informace/dvb-t/dvb-t-v-ceske-republice.html>
- [11] Televizní regionální sítě v DVB-T. *Tvzpravodaj.mnoho.info* [online]. [vid. 2014-3-22]. Dostupné z: <http://tvzpravodaj.mnoho.info/tv-regionalni-site-dvb-t>
- [12] Vysílací síť 1 (veřejnoprávní multiplex). *Digitalnitemlevize.cz* [online]. [vid. 2014-3-22]. Dostupné z: <http://www.digitalnitemlevize.cz/informace/dvb-t/vysilaci-sit-1.html>
- [13] Vysílací síť 2. *Digitalnitemlevize.cz* [online]. [vid. 2014-3-22]. Dostupné z: <http://www.digitalnitemlevize.cz/informace/dvb-t/vysilaci-sit-2.html>
- [14] Vysílací síť 3. *Digitalnitemlevize.cz* [online]. [vid. 2014-3-22]. Dostupné z: <http://www.digitalnitemlevize.cz/informace/dvb-t/vysilaci-sit-3.html>
- [15] Multiplex 4 - mapy pokrytí *Digizone.cz* [online]. [vid. 2014-3-22]. Dostupné z: <http://www.digizone.cz/texty/mapy-pokryti-multiplex-4-telefonica-o2>

- [16] Kde všude nalistíte regionální multiplexy DVB-T a co v nich vysílá. *Digitalnitemize.cz* [online]. [vid. 2014-3-22]. Dostupné z: <http://www.digizone.cz/clanky/kde-vsude-nalistite-regionalni-multiplexy-dvb-t/>
- [17] Technické základy DVB-T. *Ceskatelevize.cz* [online]. [vid. 2014-4-6]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/vse-o-ct/technika/digitalni-pozemni-vysilani-dvb-t/technicke-zaklady/>
- [18] Nový standard digitálního vysílání (DVB-T2). *Radiokomunikace.cz* [online]. [vid. 2014-2-22]. Dostupné z: <http://www.radiokomunikace.cz/tv-a-rozhlasove-vysilani/televizni-vysilani/dvb-t2/uvod.html>
- [19] ČTÚ bude diskutovat o technologii DVB-T2 i s vysílací radou. *Digizone.cz* [online]. [vid. 2014-2-22]. Dostupné z: <http://www.digizone.cz/clanky/ctu-bude-diskutovat-o-technologie-dvb-t2-i-s-vysilaci-radou>
- [20] MAPY.CZ. *Mapy.cz* [online]. [vid. 2014-4-6]. Dostupné z: <http://mapy.cz/s/9Hhq>
- [21] Vysílač Kojál. *Cs.Wikipedia.org* [online]. [vid. 2014-2-15]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Vys%C3%ADla%C4%8D_Koj%C3%A1l
- [22] Brno. *Digitalnitemize.cz* [online]. [vid. 2014-2-15]. Dostupné z: <http://www.digitalnitemize.cz/vysilace/lokalita-164859-492211-brno.html>
- [23] Předpis č. 163/2008 Sb. Vyhláška o způsobu stanovení pokrytí signálem zemského televizního vysílání. *Zakonyprolidi.cz* [online]. [vid. 2014-2-15]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2008-163>
- [24] Měření digitálních signálů DVB-T. *Profidigital.cz* [online]. [vid. 2014-2-15]. Dostupné z: <http://www.profidigital.cz/homepage/56-mereni-digitalniho-signalu-dvb-t.html>
- [25] Antenna UHF, 43 Elementi c. 21-69. *Televes.com* [online]. [vid. 2014-4-6]. Dostupné z: <http://www.televes.com/en/node/4039>

Seznam příloh

Příloha A: Naměřené hodnoty I

Součástí BP je CD.

Adresářová struktura přiloženého CD:

\CLARK MASTS SQT10HP - Katalogový list

\Předpis č. 1632008 Sb.

\SEFRAM 7825TM - Technické údaje

\SEFRAM 7825TM - Uživatelský manuál

\Televes 1044 - Technické údaje

Příloha A: Naměřené hodnoty

Tabulka A.1: Naměřené hodnoty pro anténu umístěnou 3 metry nad zemským povrchem

Výška [m]	Úhel [°]	Úroveň (level)		Chybovosti BER a MER			Subjektivní hodnocení kvality [-]
		V [dBμV]	C/N [dB]	CBER [-]	VBER [-]	MER [dB]	
3	0	53,6	37,2	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$6,5 \cdot 10^{-7}$	23,2	Q1
	10	51,2	35,8	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-7}$	24,1	Q1
	20	49,1	34,1	$4,6 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-6}$	24,1	Q1
	30	46,3	30,1	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	21,9	Q1
	40	41,9	26,1	$4,4 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	18,3	Q1
	50	41,2	22,3	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	14,5	Q1
	60	35,5	19,7	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	12,5	Q1
	70	34,0	18,0	$6,8 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	10,2	Q1
	80	30,2	13,5	$7,3 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	7,1	Q1
	90	27,9	12,0	$6,3 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	10,0	Q1
	100	31,6	15,5	$6,6 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	8,7	Q1
	110	34,1	17,7	$7,4 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	9,7	Q1
	120	37,2	21,2	$7,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	13,0	Q1
	130	39,4	23,5	$6,6 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	15,3	Q1
	140	38,3	22,4	$5,7 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	14,6	Q1
	150	36,6	20,5	$7,1 \cdot 10^{-2}$	$9,0 \cdot 10^{-5}$	12,8	Q1
	160	36,0	20,3	$5,7 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	11,8	Q1
	170	34,9	19,1	$6,1 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	11,2	Q1
	180	35,3	19,3	$6,3 \cdot 10^{-2}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$	11,2	Q1
	190	36,0	19,9	$7,3 \cdot 10^{-2}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$	11,6	Q1
	200	36,4	20,4	$5,7 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	12,1	Q1
	210	38,0	21,9	$6,8 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	13,4	Q1
	220	38,4	22,4	$6,3 \cdot 10^{-2}$	$8,0 \cdot 10^{-5}$	13,8	Q1
	230	38,8	22,5	$6,8 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	11,7	Q1
	240	38,8	23,0	$6,8 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	14,9	Q1
	250	40,0	23,7	$7,4 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	14,9	Q1
	260	39,2	23,5	$7,4 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	14,7	Q1
	270	39,0	23,2	$5,7 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	14,6	Q1
	280	39,2	23,1	$9,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	14,3	Q1
	290	39,0	23,4	$5,7 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	15,4	Q1
	300	40,1	24,3	$9,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	8,0	Q1
	310	40,5	24,3	$9,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	15,4	Q1
	320	44,1	28,5	$9,0 \cdot 10^{-2}$	$6,2 \cdot 10^{-5}$	18,8	Q1
	330	49,2	33,2	$3,6 \cdot 10^{-2}$	$8,0 \cdot 10^{-5}$	21,9	Q1
	340	50,5	34,8	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	23,9	Q1
	350	52,9	36,4	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	24,1	Q1

Tabulka A.2: Naměřené hodnoty pro anténu umístěnou 4 metry nad zemským povrchem

Výška [m]	Úhel [°]	Úroveň (level)		Chybovosti BER a MER			Subjektivní hodnocení kvality [-]
		V [dBμV]	C/N [dB]	CBER [-]	VBER [-]	MER [dB]	
4	0	58,8	44,5	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$	27,1	Q5
	10	59,3	42,9	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$4,5 \cdot 10^{-8}$	27	Q5
	20	56,6	40,9	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$	25,8	Q5
	30	56,2	38,7	$8,8 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	24,7	Q1
	40	51,2	34,9	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-5}$	23,6	Q1
	50	42,4	26,0	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	17,4	Q1
	60	42,4	26,5	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	16,1	Q1
	70	34,7	19,6	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	11,3	Q1
	80	27,7	12,0	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	6,4	Q1
	90	28,7	12,5	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	8,7	Q1
	100	31,7	15,1	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	8,4	Q1
	110	40,0	24,1	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	15,1	Q1
	120	40,4	24,1	$4,6 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	17,0	Q1
	130	41,5	23,3	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	14,9	Q1
	140	39,2	23,3	$6,6 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	14,2	Q1
	150	38,9	23,1	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	14,5	Q1
	160	38,7	23,3	$5,7 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	14,0	Q1
	170	38,4	23,6	$6,1 \cdot 10^{-2}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$	13,8	Q1
	180	38,4	23,1	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	14,7	Q1
	190	39,9	23,8	$5,5 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	15,3	Q1
	200	41,5	24,3	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	15,9	Q1
	210	40,3	24,1	$7,4 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	15,4	Q1
	220	38,7	22,8	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	14,2	Q1
	230	38,7	23,3	$6,6 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	14,5	Q1
	240	38,7	22,3	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	14,1	Q1
	250	38,1	20,1	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	11,7	Q1
	260	37,5	21,4	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	13,1	Q1
	270	34,9	18,6	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	11,0	Q1
	280	40,1	24,0	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	16,6	Q1
	290	44,8	29,4	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	20,0	Q1
	300	45,0	29,9	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	10,7	Q1
	310	49,6	33,3	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	19,6	Q1
	320	50,0	38,8	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	21,2	Q1
	330	54,9	38,7	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	23,4	Q1
	340	59,5	43,2	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$	23,8	Q1
	350	60,0	43,7	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-8}$	25,6	Q5

Tabulka A.3: Naměřené hodnoty pro anténu umístěnou 6 metrů nad zemským povrchem

Výška [m]	Úhel [°]	Úroveň (level)		Chybovosti BER a MER			Subjektivní hodnocení kvality [-]
		V [dBμV]	C/N [dB]	CBER [-]	VBER [-]	MER [dB]	
6	0	58,8	42,3	$4,4 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	26,6	Q5
	10	57,2	42,5	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$7,0 \cdot 10^{-9}$	27,6	Q5
	20	57,5	40,1	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-9}$	25,2	Q5
	30	53,1	37,7	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-9}$	24,6	Q5
	40	50,2	34,3	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	23,6	Q1
	50	47,0	31,6	$8,2 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	22,1	Q1
	60	43,0	27,5	$5,4 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	18,6	Q1
	70	40,5	25,2	$4,2 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	16,2	Q1
	80	36,5	20,9	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	12,1	Q1
	90	35,8	20,2	$6,4 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	7,7	Q1
	100	29,7	17,5	$6,2 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	9,9	Q1
	110	33,0	17,5	$6,5 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	10,9	Q1
	120	39,2	23,4	$6,2 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	14,9	Q1
	130	40,2	24,6	$6,2 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	16,2	Q1
	140	40,1	24,3	$6,2 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	15,9	Q1
	150	40,4	24,3	$4,7 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	17,7	Q1
	160	42,1	25,3	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	15,6	Q1
	170	41,6	26,1	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	6,3	Q1
	180	41,4	25,3	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	15,0	Q1
	190	41,5	25,6	$6,5 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	15,4	Q1
	200	42,0	27,3	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	15,7	Q1
	210	42,0	26,5	$5,7 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	16,8	Q1
	220	41,9	26,3	$6,8 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	16,4	Q1
	230	41,1	25,2	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	15,8	Q1
	240	41,6	24,4	$6,3 \cdot 10^{-2}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$	15,1	Q1
	250	39,7	24,4	$5,7 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	15,0	Q1
	260	39,9	23,6	$5,3 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	15,0	Q1
	270	39,2	23,3	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	14,7	Q1
	280	39,0	23,3	$7,4 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	13,1	Q1
	290	40,1	24,3	$7,2 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	15,1	Q1
	300	40,2	24,3	$6,2 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-5}$	15,4	Q1
	310	41,5	25,1	$6,7 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	15,8	Q1
	320	42,0	25,6	$6,8 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	16,0	Q1
	330	54,5	38,7	$4,9 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-8}$	24,3	Q3
	340	57,2	41,0	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$	26,6	Q5
	350	58,7	42,2	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	27,0	Q5

Tabulka A.4: Naměřené hodnoty pro anténu umístěnou 8 metrů nad zemským povrchem

Výška [m]	Úhel [°]	Úroveň (level)		Chybovosti BER a MER			Subjektivní hodnocení kvality [-]
		V [dBμV]	C/N [dB]	CBER [-]	VBER [-]	MER [dB]	
8	0	61,5	45,9	$8,0 \cdot 10^{-5}$	$6,5 \cdot 10^{-8}$	27,2	Q5
	10	60,4	45,1	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	27,9	Q5
	20	57,7	41,9	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	27,0	Q5
	30	55,3	39,6	$4,7 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	25,2	Q3
	40	52,7	36,6	$5,9 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$	24,4	Q1
	50	49,4	31,8	$6,8 \cdot 10^{-3}$	$8,3 \cdot 10^{-6}$	22,2	Q1
	60	48,9	33,1	$5,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	22,4	Q1
	70	45,6	30,1	$5,2 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	21,4	Q1
	80	42,8	27,6	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$	17,6	Q1
	90	38,5	21,8	$4,7 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	14,2	Q1
	100	37,6	21,6	$4,8 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	13,6	Q1
	110	36,5	20,8	$5,2 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	12,0	Q1
	120	35,8	20,2	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	11,9	Q1
	130	40,2	25,6	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	11,2	Q1
	140	42,9	26,2	$5,7 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	15,0	Q1
	150	43,3	26,9	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	16,7	Q1
	160	42,2	27,8	$5,9 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	15,9	Q1
	170	43,0	26,0	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	13,5	Q1
	180	43,4	27,6	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	16,9	Q1
	190	45,0	26,1	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	15,9	Q1
	200	45,2	25,6	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	16,3	Q1
	210	43,4	27,6	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	16,5	Q1
	220	42,6	26,8	$5,9 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	16,2	Q1
	230	41,3	28,9	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	16,0	Q1
	240	42,2	25,3	$4,7 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	16,4	Q1
	250	41,8	24,5	$5,6 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	16,3	Q1
	260	41,0	24,2	$6,6 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	15,1	Q1
	270	40,2	23,9	$4,7 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	15,4	Q1
	280	40,0	23,0	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	15,1	Q1
	290	39,4	22,8	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	14,8	Q1
	300	38,4	22,4	$6,6 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	14,5	Q1
	310	49,0	32,5	$2,1 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	21,0	Q1
	320	51,8	35,6	$6,0 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-6}$	21,9	Q1
	330	54,8	38,6	$4,9 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	24,2	Q3
	340	58,4	42,4	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	26,8	Q5
	350	61,3	44,9	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	27,1	Q5